



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA
MEZCLA DE HORMIGÓN Y FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D EN
DIFERENTES DOSIFICACIONES PARA LA APLICACIÓN EN
PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO CEMENTO PUZOLÁNICO
HE Y AGREGADOS DE LA PLANTA HOLCIM PIFO-QUITO”**

NOMBRES:

KAREN CARRERA ORBE

DANIEL ZEA LA ROCHELLE

DIRECTOR: ING. ESTUARDO PÁEZ

QUITO, 2018

DEDICATORIA

A mis adorados padres, Heriberto Carrera y Carmen Orbe, quienes han sido un ejemplo de perseverancia y amor, por su apoyo y confianza.

A mi hermana Erika Carrera, por su tiempo y apoyo incondicional.

A mis amigos quienes de cierta forma estuvieron presentes y supieron brindarme su apoyo

Karen Michelle Carrera Orbe

Es un gusto para mí dedicarle esta tesis, en este pequeño espacio, a las personas más importantes en mi vida, que me brindaron, sin lugar a dudas su apoyo y esfuerzo durante el transcurso de la realización de la misma

Quiero empezar dedicando mi trabajo a mi Papá y Mamá, por sus sabios y oportunos consejos y porque en cada decisión que tomo, su ejemplo lo llevo siempre presente conmigo.

A mi hermano André, aquel con el que guardo esas grandes y nobles experiencias de mi vida.

A mis abuelitos que han estado conmigo desde pequeño y se han mostrado siempre orgullosos de quien soy.

A mi novia Meche, ya que gracias a su llegada en mi vida logré descubrir en mí, mi mejor versión, además de su gran apoyo y ayuda desde un principio en la realización de esta tesis.

Por último y no menos importante, a mis amigos del colegio, esos amigos de toda la vida, con los que he aprendido grandes lecciones y encontrado un apoyo cuando lo necesitaba.

Daniel Esteban Zea La Rochelle Rosero

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Estuardo Páez, por sus consejos y paciencia.
A nuestros correctores e Ing. Lauro Lara, por su colaboración e interés sobre este trabajo.

A las empresas IDEAL ALAMBREC Y HOLCIM, por su apertura y ayuda como guías técnicas.

Al Laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por su colaboración.

Karen Michelle Carrera Orbe

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, ya que a cada paso que doy siento siempre su incondicional apoyo.

A mi papá y mamá por sus esfuerzos para solventar económicamente mis estudios.

A mis tíos Juan y Doris que supieron brindarme una mano cuando más la necesité.

A Mateo Rosero que no dudó en ayudarme cuando lo necesité.

A nuestro director de Tesis Ingeniero Estuardo Páez, nuestros correctores Ingeniero Patricio Castro e Ingeniero Gustavo Yáñez y también al ingeniero Lauro Lara por su tiempo y ayuda para la realización de esta tesis.

A Alambrec que nos colaboró con la obtención de materiales, y nos dio una pequeña guía para la realización de la tesis.

Al personal del laboratorio, en especial a Paul y Abraham.

A Holcim y la Hormigonera Manabí por brindarnos ayuda con la obtención de materiales.

Daniel Esteban Zea La Rochelle Rosero

RESUMEN

La presente disertación tiene como fin evaluar las propiedades mecánicas de la mezcla de hormigón reforzada con fibras de acero DRAMIX 3D para su aplicación en pavimentos rígidos, por lo que se plantean ensayos que permitan realizar una comparación entre el hormigón simple y el hormigón reforzado con estas fibras.

En ingeniería la optimización de procesos y resultados siempre está presente, por lo cual constantemente se buscan nuevas alternativas en los procesos constructivos, de allí nace el uso de fibras de acero como refuerzo en el hormigón, ya que estas poseen características beneficiosas que el refuerzo convencional no puede ofrecerlas.

Debido a lo mencionado anteriormente se plantea la realización de esta disertación ya que la utilización de este tipo de refuerzo va en aumento en nuestro país, gracias al amplio campo de aplicación y la versatilidad de adaptación de las fibras de acero en diferentes proyectos ingenieriles, desde el uso en pisos industriales hasta dovelas para el Metro de Quito.

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is evaluate the mechanical properties of the concrete mix reinforced with DRAMIX 3D steel fibers for its application in rigid pavements, so tests are proposed to compare between simple concrete and concrete reinforced with these fibers.

In engineering, the optimization of processes and results is always present, so new alternatives are constantly being studied in the construction processes, hence the use of steel fibers as reinforcement in concrete, these have beneficial characteristics that the conventional reinforcement can not offer.

Right to the aforementioned, the realization of this dissertation is proposed since the use of this type of reinforcement is increasing in our country, thanks to the wide field of application and the versatility of adaptation of steel fibers in different engineering projects, from the use in industrial floors up to voussoirs for The Quito Metro.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. OBJETIVO DE ESTUDIO	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4. ALCANCE	6
CAPÍTULO II	9
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	9
2.1. MARCO TEÓRICO	9
2.1.1. PAVIMENTO RÍGIDO	9
2.1.2. HORMIGÓN	11
2.1.3. HORMIGÓN ARMADO	15
2.1.1. FIBRAS EN EL HORMIGÓN	16
2.1.2. FIBRAS DE ACERO	18
2.2. ENSAYOS AGREGADOS	24
2.2.1. GRANULOMETRÍA	24
2.2.2. PESO UNITARIO	24
2.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	24
2.2.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA (AGREGADO FINO)	25
2.2.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA (AGREGADO GRUESO)	25
2.2.6. TERRONES DE ARCILLA	25
2.2.7. MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200 (AGREGADO FINO)	25
2.2.8. EQUIVALENTE DE ARENA	25
2.2.9. CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO (AGREGADO FINO)	26

2.2.10. DESGASTE A LOS SULFATOS.....	26
2.2.11. DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (AGREGADO GRUESO).....	26
2.3. ENSAYOS CEMENTO.....	27
2.3.1. FINURA DEL CEMENTO	27
2.3.2. TIEMPO DE FRAGUADO.....	27
2.3.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO.....	27
2.3.4. ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN MORTEROS DE CEMENTO ..	27
2.4. ENSAYOS HORMIGÓN.....	28
2.4.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILINDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO - NTE INEN 1573	28
2.4.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (LOP), RESISTENCIA RESIDUAL) - NTE INEN 3063	28
2.5. DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN.....	34
2.5.1. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO	34
2.5.2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO	34
2.5.3. ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE 35	
2.5.4. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C).....	35
2.5.5. CONTENIDO DE CEMENTO	37
2.5.6. CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO	37
2.5.7. AGUA DE MEZCLA.....	38
CAPÍTULO III	39
3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
3.1. ENSAYOS AGREGADO FINO (ARENA – HOLCIM PIFO).....	39
3.1.1. GRANULOMETRÍA	39
3.1.2. PESO UNITARIO	41

3.1.3.	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL.....	41
3.1.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN.....	42
3.1.5.	TERRONES DE ARCILLA.....	42
3.1.6.	MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200.....	43
3.1.7.	EQUIVALENTE DE ARENA	43
3.1.8.	CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO	43
3.1.9.	DESGASTE A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS.....	44
3.2.	ENSAYOS AGREGADO GRUESO (MATERIAL #7 – HOLCIM PIFO)	45
3.2.1.	GRANULOMETRÍA	45
3.2.2.	PESO UNITARIO	47
3.2.3.	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL.....	47
3.2.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA	48
3.2.5.	TERRONES DE ARCILLA.....	48
3.2.6.	DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	49
3.2.7.	DESGASTE A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS.....	49
3.3.	RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN.....	50
3.4.	ENSAYOS CEMENTO (TIPO HE – HOLCIM).....	53
3.4.1.	FINURA DEL CEMENTO	53
3.4.2.	TIEMPO DE FRAGUADO.....	53
3.4.3.	GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO.....	54
3.4.4.	COMPRESIÓN DE MORTEROS.....	54
3.5.	ENSAYOS DEL HORMIGÓN.....	55
3.5.1.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS	55
3.5.2.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN	59
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73

5.	BIBLIOGRAFÍA.....	74
----	-------------------	----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1. Cemento HOLCIM HE	13
Fotografía 2-2. Fibra de Vidrio.....	17
Fotografía 2-3. Fibras de Polipropileno.....	18
Fotografía 2-4. Fibras de Acero DRAMIX 3D.....	19
Fotografía 2-5. Bolsas Recicladadas de 20 kg.....	20
Fotografía 2-6. Fibras de acero DRAMIX 3D	21
Fotografía 2-7. Fibras de acero DRAMIX 4D	21
Fotografía 2-8. Fibras de acero DRAMIX 5D	21
Fotografía 2-9. Ficha técnica DRAMIX 3D 80/60	23
Fotografía 2-10. Colocación de Dispositivo en las Vigas	32
Fotografía 2-11. Viga durante el Ensayo	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Probetas tipo utilizadas.	29
Figura 2-2 Posición de la entalladura cortada en la probeta antes de la rotación (Sección transversal en el centro de la probeta)	29
Figura 2-3 Entalladura en probetas tipo utilizadas.	30
Figura 2-4 Configuración de la carga.....	30
Figura 2-5. Configuración de la carga sobre la probeta	31
Figura 2-6 Configuración típica para la determinación de la flecha (Dimensiones en milímetros).....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Cantidad de cilindros y vigas de hormigón para la realización de ensayos	6
Tabla 1-2. Tiempos de espera para la rotura de cilindros y vigas de hormigón.....	7
Tabla 2-1. Clasificación del Cemento	12
Tabla 2-2. Tipos de Fibras (aplicaciones)	22
Tabla 2-3. Tipos de Fibras (capacidades).....	22
Tabla 2-4. Nomenclatura Fibras de acero DRAMIX	23
Tabla 2-5 Dimensiones de las probetas.....	29
Tabla 2-6. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción (Adaptada de ACI 211.1)	34
Tabla 2-7: Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado (Adaptada ACI 211)	35
Tabla 2-8: Relación agua/cemento y Resistencia a la compresión del hormigón ..	36
Tabla 2-9: Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto. Adaptada del ACI 211.1 y ACI 211.3	37
Tabla 3-1. Granulometría (Agregado Fino)	39
Tabla 3-2. Peso Unitario. (Agregado Fino)	41
Tabla 3-3. Humedad Natural. (Agregado Fino)	41
Tabla 3-4. Gravedad Específica y Absorción. (Agregado Fino).....	42
Tabla 3-5. Porcentaje de Terrones de Arcilla. (Agregado Fino)	42
Tabla 3-6. Material que pasa el Tamiz #200. (Agregado Fino).....	43
Tabla 3-7. Equivalente de Arena. (Agregado Fino)	43
Tabla 3-8. Contenido de Material Orgánico. (Agregado Fino).....	43
Tabla 3-9. Desgaste a la Acción de los Sulfatos. (Agregado Fino)	44
Tabla 3-10. Granulometría. (Agregado Grueso)	45
Tabla 3-11. Peso Unitario. (Agregado Grueso).....	47

Tabla 3-12. Humedad Natural. (Agregado Grueso)	47
Tabla 3-13. Gravedad Específica y Absorción. (Agregado Grueso)	48
Tabla 3-14. Porcentaje de Terrones de Arcilla. (Agregado Grueso)	48
Tabla 3-15. Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles. (Agregado Grueso)	49
Tabla 3-16. Durabilidad a la Acción de Sulfatos. (Agregado Grueso)	49
Tabla 3-17. Tabla de resumen diseño de la mezcla de hormigón	52
Tabla 3-18. Finura del Cemento	53
Tabla 3-19. Tiempo de Fraguado del Cemento	53
Tabla 3-20. Gravedad Específica del Cemento	54
Tabla 3-21. Compresión de Morteros. Cemento	54
Tabla 3-22. Primera Dosificación (0 Kg/m ³)	55
Tabla 3-23. Segunda Dosificación (5 Kg/m ³)	55
Tabla 3-24. Tercera Dosificación (10 Kg/m ³)	56
Tabla 3-25. Cuarta Dosificación (20 Kg/m ³)	56
Tabla 3-26. Quinta Dosificación (25 Kg/m ³)	57
Tabla 3-27. Resumen resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón	57
Tabla 3-28: Primera Dosificación (0 Kg/m ³)	59
Tabla 3-29. Segunda Dosificación (5 Kg/m ³)	59
Tabla 3-30. Tercera Dosificación (10 Kg/m ³)	59
Tabla 3-31. Cuarta Dosificación (20 Kg/m ³)	60
Tabla 3-32. Quinta Dosificación (25 Kg/m ³)	60
Tabla 3-33. Resumen resistencia a la tracción por flexión.	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3-1. Granulometría (Agregado Fino).....	40
Gráfica 3-2. Granulometría (Agregado Grueso).....	46
Gráfica 3-3. Resumen resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.....	58
Gráfica 3-4. Resumen resistencia a la tracción por flexión.	61
Gráfica 3-5. Primera dosificación (0 kg/m ³), a los 28 días	62
Gráfica 3-6. Segunda dosificación (5 kg/m ³), a los 28 días (1)	63
Gráfica 3-7. Segunda dosificación (5 kg/m ³), a los 28 días (2)	64
Gráfica 3-8. Tercera dosificación (10 kg/m ³), a los 28 días (1)	65
Gráfica 3-9. Tercera dosificación (10 kg/m ³), a los 28 días (2)	66
Gráfica 3-10. Cuarta dosificación (20 kg/m ³), a los 28 días (1)	67
Gráfica 3-11. Cuarta dosificación (20 kg/m ³), a los 28 días (2)	68
Gráfica 3-12. Quinta dosificación (25 kg/m ³), a los 28 días (1).....	69
Gráfica 3-13. Quinta dosificación (25 kg/m ³), a los 28 días (2).....	70
Gráfica 3-14. Comparación con diferentes dosificaciones de fibras de acero DRAMIX 3D a los 28 días de fraguado (1)	71
Gráfica 3-15. Comparación con diferentes dosificaciones de fibras de acero DRAMIX 3D a los 28 días de fraguado (2)	72

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería es un conjunto de conocimientos empíricos y científicos que se aplican para optimizar el uso o aplicación de materiales y dar un correcto uso a las fuerzas naturales en beneficio del ser humano. Muchos definen a la ingeniería también como un arte ya que todo aquello que se conoce, nace a partir de la imaginación, para después de ciertos estudios convertirse en realidad. En la ingeniería intervienen diversas habilidades, por lo cual se citará la opinión de Grech (2001) “La habilidad analítica para poder descomponer un todo en sus partes, establecer relaciones entre estas, constituye otro de los activos fijos más importantes de cualquier ingeniero.” (pág. 2), es decir que para aplicar la ingeniería hace falta más que voluntad, hace falta tener destreza de analizar un problema y ser capaz de comprender los conceptos ingenieriles para de este modo lograr construir o desarrollar una solución. En la actualidad existen diversos tipos de ingenierías ya que cada día existe la necesidad de mejorar en algún aspecto de nuestras vidas y así, patentando un producto, mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

En esta disertación, el enfoque viene dado hacia la ingeniería civil, rama de la ingeniería que aplica diversos conocimientos, por ejemplo: el comportamiento físico, mecánico y químico de los materiales, la hidrología, la geología, la física, la matemática, entre otras ramas para así diseñar y construir la mayoría de cosas que vemos en nuestro entorno como son: puentes, vías, edificios, casas, presas hidráulicas, entre otros. La ingeniería civil tiene como una de sus principales aplicaciones, el estudio del comportamiento mecánico de los materiales, razón por la que se eligió evaluar el comportamiento mecánico del hormigón con fibras de acero DRAMIX 3D con un enfoque hacia una de las estructuras de principal estudio en la ingeniería civil, las vías. Para comprender de mejor manera el concepto de mecánica de materiales, se recordará lo mencionado por Hibbeler (2006):

La **mecánica de materiales** es una rama de la mecánica que estudia las relaciones entre las cargas *externas* aplicadas a un cuerpo deformable y la intensidad de las fuerzas *internas* que actúan dentro del cuerpo. Esta disciplina de estudio implica también calcular las *deformaciones* del cuerpo y proveer un estudio de la *estabilidad* del mismo cuando está sometido a fuerzas externas. (pág. 3)

En el diseño de cualquier estructura o máquina, es necesario *primero*, usar los principios de la estática para determinar las fuerzas que actúan sobre y dentro de los diversos miembros. El tamaño de los miembros, sus deflexiones y estabilidad dependen no solo de las cargas internas, sino también del tipo de material de que están hechos. En consecuencia, una determinación precisa y una comprensión básica del *comportamiento del material* será de importancia vital para desarrollar las ecuaciones necesarias usadas en la mecánica de materiales. Debe ser claro que muchas fórmulas y reglas de diseño, tal como se definen en los códigos de ingeniería y usadas en la práctica, se basan en los fundamentos de la mecánica de materiales, y por esta razón es tan importante entender los principios de esta disciplina. (pág. 3)

El presente trabajo de disertación trata sobre la utilización de fibras de acero DRAMIX 3D en el hormigón con un enfoque evaluativo, es decir que se realizarán varios ensayos para dar a conocer el comportamiento del hormigón con fibras de acero DRAMIX 3D, para así, determinar aquellas inferencias que se obtienen con la aplicación de dichas fibras y verificar si conviene o no su uso en la construcción de vías de pavimento rígido.

1.2. ANTECEDENTES

El hormigón es un material que ha sido sometido a varios análisis mediante pruebas y ensayos. Actualmente se tiene gran información del mismo. Se lo considera como un material no homogéneo para su aplicación en la construcción, constando este de dos principales elementos que son la pasta y los agregados. La pasta consta de una mezcla dosificada de cemento con agua y en cuanto a los agregados, se dividen en 2 grupos: gruesos y finos, que se incorporarán a la mezcla con una dosificación específica de cada material, según las solicitaciones a las cuales se encuentre sometido el hormigón.

La idea del refuerzo en el hormigón surge de la necesidad de complementar o mejorar las capacidades del hormigón, como es la resistencia a la tracción y flexión. Inicialmente se planteó la idea de un enmallado de acero para hormigón en vías (capa de rodadura), pero gracias al continuo estudio se propone como solución el uso de filamentos de acero dispersos en la mezcla de hormigón.

Por lo ya mencionado, en este trabajo se plantea el uso de estos filamentos, específicamente DRAMIX 3D, que son pequeñas fibras de acero delgadas y alargadas similares a una grapa, estas tienen como objetivo principal servir de refuerzo en mezclas de hormigón. Su utilización resulta favorable debido al fácil manejo, gran rendimiento y durabilidad que presentan dichas fibras.

Para el caso de análisis de este estudio se implementará un hormigón de alta resistencia, siendo este el especificado para la elaboración de pavimentos rígidos ($F'c = 315 \text{ Kg/cm}^2$)

Desde hace varios años uno de los temas de mayor relevancia en el ámbito ingenieril es la innovación de procesos para reducir los tiempos en la fabricación de un producto, y de este modo facilitar la vida diaria del ser humano, en nuestro caso se innovará en el área de la construcción. Debido a las grandes mejoras implementadas hasta hoy en día y las interminables necesidades que surgen a cada momento con el fin de facilitar la vida del ser humano, día a día se realizan nuevas investigaciones en todos los ámbitos ingenieriles.

Siendo la construcción de vías es una de las principales ramas de la ingeniería civil, se ha experimentado una constante mejora en los métodos para realizar un trabajo adecuado y así mismo garantizar el confort de aquellos usuarios de la estructura. Con el presente trabajo se plantea evaluar el comportamiento de la mezcla de hormigón y buscar una mejora en el material para de este modo contribuir a los tantos estudios dirigidos a las

vías de pavimento rígido realizados por demás ingenieros, arquitectos, estudiantes, entre otros.

Se evaluará el comportamiento del hormigón mediante la aplicación de fibras DRAMIX 3D en diferentes cantidades para su uso en pavimentos rígidos.

1.3. OBJETIVO DE ESTUDIO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento mecánico del hormigón con diferentes dosificaciones de fibra de acero DRAMIX 3D para su aplicación en la construcción de vías con pavimento rígido.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las ventajas que se pueden tener en el pavimento rígido mediante la aplicación de fibras de acero DRAMIX 3D.
- Dar a conocer el comportamiento, características y beneficios que se obtiene al usar fibras de acero DRAMIX 3D en el hormigón.
- Demostrar que el hormigón tendrá una reducción significativa en lo que se refiere a fisuras provocadas por flexión; las mismas se verán reducidas gracias al uso de fibras de acero DRAMIX 3D.

1.4. ALCANCE

En el presente trabajo se plantea la caracterización del hormigón reforzado con diferentes cantidades de fibras de acero DRAMIX 3D para su aplicación en pavimentos rígidos, con agregados de la planta de HOLCIM; también mediante los resultados obtenidos de los ensayos que se plantean realizar, se determinará la influencia en las características mecánicas de la mezcla en cuanto a desempeño para así garantizar el éxito para su aplicación en pavimentos rígidos.

En base a la descripción que brindan los fabricantes (ALAMBREC BEKAERT), se recomienda una dosificación mínima de 10 Kg/m³ de fibras de acero DRAMIX 3D, por lo cual se plantea analizar e interpretar cinco diferentes dosificaciones: 0 Kg/m³, 5 Kg/m³, 10 Kg/m³, 20 Kg/m³ y 25 Kg/m³.

Los materiales de la planta HOLCIM que se solicitará para la realización de la mezcla de hormigón será de agregado fino (arena) y agregado grueso #7 ya que son los comúnmente utilizados en nuestro medio y además son los que cumplen con los requerimientos de granulometría.

Se utilizará cemento tipo HE marca HOLCIM

Los ensayos a realizar para conocer las características mecánicas del hormigón son los ensayos de compresión de cilindros según la norma NTE INEN 1573, tracción por medio de la flexión de vigas según la norma NTE INEN 3063 y asentamiento del hormigón según la NTE INEN 1578

Para la realización de los ensayos de compresión de cilindros de hormigón y la flexión de vigas de hormigón, se propone ensayar la siguiente cantidad de cilindros y vigas para las respectivas dosificaciones, tal y como se muestra en la Tabla 1-1:

	Dosificación				
	0 Kg/m ³	5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	20 Kg/m ³	25 Kg/m ³
Cilindros	6	6	6	6	6
Vigas	6	6	6	6	6

Tabla 1-1. Cantidad de cilindros y vigas de hormigón para la realización de ensayos

En cuanto a los tiempos de espera para la rotura de cilindros y vigas, se realizará 2 cilindros y 2 vigas a los 7, 14 y 28 días respectivamente para cada dosificación, tal y como se muestra en la Tabla 1-2:

	Dosificación									
	0 Kg/m3		5 Kg/m3		10 Kg/m3		20 Kg/m3		25 Kg/m3	
	Cilindros	Vigas	Cilindros	Vigas	Cilindros	Vigas	Cilindros	Vigas	Cilindros	Vigas
7 días	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
14 días	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
28 días	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabla 1-2. Tiempos de espera para la rotura de cilindros y vigas de hormigón

Para fabricar y ensayar las muestras de cilindros y vigas de hormigón, se utilizará las máquinas, equipos e instalaciones con que cuentan los laboratorios de resistencia de materiales y mecánica de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Quito).

Se ensayo la cantidad de 2 cilindros (tabla 1-2), en base a lo especificado por la norma INEN 1573 "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico." Donde se menciona que el coeficiente de variación de cilindros de 150 x 300 mm en condiciones de laboratorio es de 2,4% aproximadamente dando por consiguiente que el rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales es del 6,6%.

Según el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOP, 2002), para la realización de los ensayos de resistencia (compresión y flexión), se deberá utilizar como mínimo 2 muestras para cada ensayo, y se tomará como un ensayo al promedio de las resistencias obtenidas de cada muestra.

Los ensayos a realizar para conocer las características físicas o mecánicas de los materiales a utilizar son las siguientes:

Ensayos agregado fino

- Granulometría: NTE INEN 696
- Peso unitario: NTE INEN 858
- Contenido de humedad natural: NTE INEN 862
- Gravedad específica: NTE INEN 856
- Terrones de arcilla: NTE INEN 698

- Material que pasa el tamiz #200: NTE INEN 697
- Equivalente de arena: AASTHO T-176
- Contenido de material orgánico: NTE INEN 855
- Desgaste a los sulfatos: NTE INEN 863

Ensayos agregado grueso

- Granulometría: NTE INEN 696
- Peso unitario: NTE INEN 858
- Contenido de humedad natural: NTE INEN 862
- Gravedad específica: NTE INEN 857
- Terrones de arcilla: NTE INEN 698
- Desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles: NTE INEN 860
- Desgaste a los sulfatos: NTE INEN 863

Ensayos cemento

- Finura del cemento: NTE INEN 196
- Tiempo de fraguado por el método Vicat: NTE INEN 158
- Gravedad específica del cemento: NTE INEN 156
- Esfuerzo de compresión en morteros: NTE INEN 488

Para la realización de estos ensayos se utilizará las máquinas, equipos e instalaciones con que cuentan los laboratorios de resistencia de materiales y mecánica de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Quito)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. PAVIMENTO RÍGIDO

Es aquella estructura conformada por una losa de hormigón, una base a la cual se transmiten las cargas del tráfico y finalmente una capa conocida como subrasante a donde llegan finalmente las cargas transmitidas desde la parte superior de la losa.

Según (Londoño, 2004), en 1865, Inverness (Escocia) inicia el desarrollo de los pavimentos de concreto de cemento Portland. En el América, Bellfountain (Ohio, Estados Unidos) se experimenta por primera vez en 1891 construyendo una franja de 2.4 metros de ancho y 80 metros de largo. Con estos precedentes, las investigaciones para un diseño correcto inician siendo la primera teoría sobre el comportamiento estructural del pavimento planteada por Westergaard en 1920.

Posteriormente se demostró que varias subrasantes se comportan como sólidos, elásticos, isotrópicos y que su comportamiento se puede predecir en función de los módulos de elasticidad y Poisson. (pág. 1)

2.1.1.1. TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

El método de diseño propuesto por la PCA (Portland Cement Association) se aplica a diferentes tipos de pavimentos rígidos mencionado por (Londoño, 2004) como los siguientes:

- *Pavimento rígido de concreto simple*: como su nombre lo indica no posee acero de refuerzo ni varillas (dovelas) de transferencia de carga en las juntas. La transferencia de cargas se logra mediante una trabazón producida por los agregados de dos caras de losas contiguas, formadas estas por el corte de la junta. Se precisa que las losas sean cortas (4.50 metros) para que exista un buen comportamiento en la transferencia de cargas.
- *Pavimento rígido de concreto simple con varillas de transferencia de carga (pasadores o dovelas)*: contruidos sin acero de refuerzo, pero con varillas lisas en cada junta de contracción, las cuales permiten una correcta transferencia de carga requiriéndose también que las losas sean no mayores a 6 metros para controlar el agrietamiento.
- *Pavimento rígido de concreto reforzado con dovelas en juntas de contracción*: este tipo de pavimento permite una mayor separación entre juntas con respecto a los

anteriores tipos de pavimentos. Pueden generarse fisuras transversales entre las juntas, pero estas se mantienen cerradas a causa del acero de refuerzo, logrando así una excelente transferencia de carga.

- *Pavimento rígido con refuerzo continuo*: normalmente su espaciamiento entre juntas no debería ser superior a 12 metros, su alto contenido de refuerzo longitudinal ocasiona un alto grado de transferencia de carga en las caras de las fisuras que son mayormente transversales. (pág. 52)

2.1.1.2. DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA CALLES Y CARRETERAS, MÉTODO PCA

Los procedimientos de diseño de la PCA, incluyen las siguientes consideraciones según (Londoño, 2004):

- El grado de transferencia de cargas según el pavimento considerado.
- La presencia de bermas de concreto que unidas al pavimento reducen los esfuerzos de flexión y deflexiones debidas a las cargas de los vehículos.
- Al usar una subbase de concreto de baja resistencia se logra reducir los esfuerzos y deflexiones; proporciona un soporte en el área de juntas, y además brinda resistencia a la erosión causada por las repetidas deflexiones del pavimento.
- Criterios de diseño:
 - *Fatiga*: para prevenir la fatiga por agrietamiento se requiere estar dentro del límite de seguridad de los esfuerzos producidos por las cargas repetidas presentes en la vida útil del pavimento.
 - *Erosión*: este criterio es indispensable ya que algunas de las fallas del pavimento como el desnivel entre losas y deterioro de las bermas son independientes de la fatiga, por tanto, para limitar los efectos de deflexión en los bordes de las losas, juntas y esquinas es necesario controlar la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas. (pag. 54)

2.1.2. HORMIGÓN

El hormigón es un material de construcción. Este material se encuentra conformado principalmente por 3 elementos: cemento, agua, y agregados dentro de los cuales se tiene el agregado grueso y el agregado fino. Según la asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO, 2006):

El hormigón simple ofrece, como las piedras naturales, una resistencia muy grande a los esfuerzos de compresión y muy escasa a los esfuerzos de tracción (en términos generales su resistencia a la tracción es del orden de un 10% de su resistencia a la compresión); por lo tanto, por sí solo es inadecuado para formar piezas que han de resistir tracciones y flexiones. Pero al disponer varillas de acero en las zonas de tracción, se suple esa deficiencia, teniendo entonces una pieza resistente a la flexión. (pág. 129)

El hormigón por si solo es un material netamente resistente a la compresión, es la razón por la cual se han realizado varios estudios que permiten tener al usuario o comprador un hormigón no solo resistente a la compresión, sino también a esfuerzos de tracción, generados generalmente por esfuerzos flectores. Es aquí donde nace la idea de un refuerzo en el hormigón, así también tras varios análisis y estudios del comportamiento mecánico del hormigón se llegó a determinar un comportamiento satisfactorio del hormigón al reforzarlo con acero, sin embargo, los análisis no quedaron ahí y con el tiempo en el campo se puede ver todo tipo de mejoramientos inducidos al hormigón.

2.1.2.1. CEMENTO

El cemento es el principal material en el hormigón ya que junto con el agua reaccionan químicamente y forman una pasta que une el resto de componentes del hormigón.

Según el Instituto Nacional Ecuatoriano del Cemento y el Concreto y la Asociación de Productores de Hormigón Premezclado del Ecuador (INECYC & APRHOPEC, 2007) mencionan lo siguiente respecto al cemento:

Los cementos son conglomerantes hidráulicos, es decir, materiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente mezclados con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones químicas de sus constituyentes, tanto en el aire como bajo el agua, dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables. (pág. 12)

También podemos definir el cemento como un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, permitiendo la unión de fragmentos minerales entre sí. (pág. 12)

Existen diversos tipos de cemento en el medio y se los puede clasificar de diferentes formas, entre ellos tenemos los cementos puros, compuestos y otra clasificación por desempeño como se puede ver en la Tabla 2-1:

	TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA	
			INEN	ASTM
PUROS	I	Uso común	152	C 150
	II	Moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación	152	C 150
	III	Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V	Alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C 150
COMPUESTOS	IS	Pórtland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP	Pórtland puzolánico	490	C 595
	P	Pórtland puzolánico (cuando se requieren resistencias iniciales altas)	490	C 595
	I(PM)	Pórtland puzolánico modificado	490	C 595
	I(SM)	Pórtland con escoria modificado	490	C 595
	S	Cemento de escoria	490	C 595
POR DESEMPEÑO	GU	Uso en construcción en general	2 380	C 1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2 380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos	2 380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2 380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2 380	C 1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2 380	C 1157

Tabla 2-1. Clasificación del Cemento

Fuente: (INECYC & APRHOPEC, 2007)

Para la realización de este trabajo de disertación se utilizará el cemento HOLCIM HE de elevada resistencia inicial, ya que, para trabajos de construcción vial, se recomendó por ALAMBREC BEKAERT, en base a la experiencia, el uso de dicho cemento (Fotografía 2-1).



Fotografía 2-1. Cemento HOLCIM HE

Fuente: (HOLCIM, Portal DirectA, 2017)

El cemento HOLCIM HE es comúnmente utilizado para la construcción de vías de pavimento rígido ya que permiten llevar una construcción a paso rápido brindando resistencias iniciales desde los primeros días de fundido el material, motivo por el que se utilizará este cemento en este trabajo de disertación

Este cemento es un producto de un alto desempeño y calidad por lo que resulta apto para cualquier tipo de estructura a construir, en especial, como en este caso, una vía, que son obras que necesitan ser puestas en obra rápidamente; también se recomienda su uso cuando se va a realizar estructuras de gran tamaño como puentes, obras portuarias, etc.

Según (HOLCIM, 2015):

Este tipo de cemento HOLCIM HE tiene sus ventajas:

- Obtención de alta resistencia inicial en menos tiempo que un cemento normal.*
- Ofrece resistencias superiores a las estimadas.*
- Ofrece una reducción en la formación de fisuras en el hormigón debido a su bajo calor de hidratación*

- *Se obtiene una reducción en los tiempos de trabajo ya que al fraguar rápido el material, se puede continuar con los trabajos, como sería el caso de la construcción de una vía de pavimento rígido.*
- *Brinda una mejor trabajabilidad que el cemento normal*
- *Representa una reducción, en cantidad, de uso de hormigón, ya que con sus altas resistencias se puede lograr elementos más pequeños.*

En el Ecuador se ha utilizado este cemento en varias obras, según (HOLCIM, 2015), tenemos las siguientes:

Infraestructuras

- Proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair: obras de captación, dovelas para recubrimiento de los túneles, hormigón lanzado.
- Proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón
- Túneles San Eduardo en Guayaquil
- Complejo de Puentes de la Unidad Nacional
- Aeropuertos de Santa Rosa, Tena y Latacunga
- Carreteras de hormigón rígido que construye el Cuerpo de Ingenieros del Ejército del Ecuador el Ministerio de Transportes y Obras Públicas.
- Metro de Quito
- Ampliación del Terminal Marítimo en Puerto Bolívar
- Todas las plantas de concreto premezclado de Holcim a nivel nacional

Caminos urbanos

- Vía de ingreso desde El Cambio a Machala
- Avenida del Bombero en Guayaquil
- Vías San Eduardo en Guayaquil
- Carriles exclusivos de la Metrovía en Guayaquil y del Trole en Quito
- Terminal Terrestre Sur en Quitumbe

2.1.2.2. AGUA

Según (INECYC & APRHOPEC, 2007) El agua es un componente esencial en el hormigón para definir las características mecánicas del mismo. Se recomienda el uso de agua potable; sin embargo, el uso de agua no potable también es permitido, siempre y cuando se haga una comparación entre los cubos de mortero donde el cubo de mortero

con agua no aceptada deberá tener una resistencia mayor o igual al 90% de la resistencia del cubo con agua aceptada (pág. 23)

2.1.2.3. AGREGADOS

Los agregados se dividen en dos grupos: finos y gruesos, los cuales deben cumplir con una granulometría específica, que dependerá de la aplicación de los mismos. Al igual que el agua y el cemento, deben dosificarse adecuadamente para lograr un hormigón con las características deseadas, según sea el caso de estudio. Además, los agregados deben estar libres de cualquier tipo de impureza que afecte a la mezcla; según (INECYC & APRHOPEC, 2007) estos no deben tener una forma puntiaguda ni alargada: “Se consideran partículas largas e inadecuadas aquellas cuya relación entre la longitud y el ancho es mayor de 1,5” (pág. 20)

2.1.3. HORMIGÓN ARMADO

2.1.3.1. DEFINICIÓN

El hormigón reforzado nace de la idea de mejorar las capacidades mecánicas del hormigón simple.

Según (McCormac & Brown, 2011), el hormigón reforzado es una mezcla de hormigón y acero para que estos materiales trabajen en conjunto y den paso a un comportamiento eficiente a diversas solicitaciones a la que se encuentre sometida una estructura. El hormigón es un material altamente resistente a las cargas que se le aplique pero solo aquellas que generen esfuerzos de compresión sobre el mismo y bajos o casi nulos esfuerzos de tracción o corte, razón por la cual tras varios análisis desde hace muchos años atrás se dedujo que el uso de estos dos materiales en conjunto brindarían uno capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, soportando a su vez, según sea el caso, grandes esfuerzos de tracción. Tras varios años de estudios y futuras aplicaciones del material en la construcción, hoy en día es notorio y cabe la pena recalcar que es el material disponible de mayor importancia en el mundo para la construcción, ya sean estructuras pequeñas, grandes o inmensas; por ejemplo: puentes, vías con pavimento rígido, edificios, casas, rascacielos, presas hidráulicas, túneles, puentes, muros, entre otros. (pág.1)

Debido a la versatilidad que presenta el hormigón armado se nombran ciertas ventajas de utilizarlo como material de construcción:

1. Su capacidad de resistir esfuerzos de compresión es notablemente grande respecto de otros materiales como la madera, el PVC, la cerámica, entre otros. (pág.1)

2. Tiene una gran capacidad de resistir el fuego y el agua. Solo en caso de un incendio de gran magnitud es que el acero puede verse comprometido ya que su resistencia se ve disminuida debido a que el acero empieza a fluir. (pág.1)

3. El hormigón no necesita un mantenimiento continuo. (pág.1)

4. Es un material con una larga vida, además sus capacidades mecánicas mejoran con el tiempo, es decir, que su resistencia aumentará y su flujo plástico disminuirá a medida que pase el tiempo. (pág.1)

5. Es un material que podemos darle forma, ya sea con un encofrado o simplemente, este puede ser lanzado ya que en su etapa inicial (0 días) tiene un estado líquido. (pág. 2)

6. No hace falta mano de obra altamente especializada en comparación de aquellos que trabajan con acero u otros materiales. (pág. 2)

Como se puede observar, el hormigón tiene varias ventajas, sin embargo eso no impide que posea algunas desventajas como son las siguientes:

1. El concreto tiene una resistencia muy baja a la tensión, por lo que requiere el uso de un refuerzo de tensión. (pág. 2)

2. El hormigón es un material muy pesado. Al momento de construir elementos horizontales tales como losas de un edificio, resulta laborioso ya que se debe armar una base con materiales como madera y dependiendo del área de la losa, se debe apuntalar, lo que representa un mayor tiempo de trabajo. Así también debido a su gran peso, en estructuras con grandes luces, se producirán altos momentos flexionantes (pág. 2)

2.1.1. FIBRAS EN EL HORMIGÓN

2.1.1.1. ¿POR QUÉ UTILIZAR FIBRAS?

Según (Arango Campo, 2010): “Las consecuencias estructurales de la adición de fibras de acero al hormigón, se manifiestan principalmente en estado fisurado, dotando al hormigón de una capacidad de resistencia residual y una rotura más dúctil.” (pág. 7)

La característica principal del porque utilizar fibras según (Arango Campo, 2010):

Las fibras son las que asumen las tensiones de tracción mientras que la matriz que las rodea mantiene su localización y orientación, actuando como un medio de transferencia de carga entre ellas, además de proteger a las fibras de los agentes agresivos del medio ambiente como la humedad y la temperatura, entre otros. (pág. 25)

2.1.1.2. TIPOS DE FIBRAS

En el medio existen diferentes tipos de fibras con las que se ha conseguido mezclar al hormigón para modificar sus características, buscando una mejora en el hormigón. Entre los tipos de fibras más utilizadas por su material tenemos las fibras de: vidrio, polipropileno y acero.

Según (Mármol Salazar, 2010), las fibras de vidrio (Fotografía 2-2) se las utilizó por primera vez en la década de los 40's con la finalidad de obtener paneles con espesores menores a los que se obtenían usando acero de refuerzo, otra teoría no documentada por la que se utilizó esta fibra fue para reducir la utilización de asbesto ya que éste, tras años de estudio, resulto indicar un alto potencial cancerígeno. (pág. 10)



Fotografía 2-2. Fibra de Vidrio

Fuente: (EXTRUSIÓN, Extrusión de Polímeros S.A., 2017)

Según (Mármol Salazar, 2010), Las fibras de polipropileno (Fotografía 2-3), además de ser un producto económico con respecto a las fibras de acero, son inertes químicamente hablando, razón por la cual no existen problemas relacionados con la oxidación y absorción de agua. Estas fibras tienen una desventaja que hace que las fibras de acero se pongan en primer lugar en cuanto a mejoras de las características mecánicas del hormigón, y es que su adherencia es mucho más baja con el hormigón. Otra desventaja de estas fibras es que a pesar de ser un material inerte, es susceptible a perder sus capacidades mecánicas al verse sometido a luz y el calor, motivo por el que es necesario utilizar estabilizadores a la luz solar, generando así un producto más caro.



Fotografía 2-3. Fibras de Polipropileno

Fuente: (<https://buenos-aires.all.biz/macro-fibra-de-polipropileno-macronita-g113799>)

2.1.2. FIBRAS DE ACERO

Son las fibras que brindan mayor confianza al usuario debido a sus estupendas capacidades mecánicas de resistir esfuerzos de tracción, además existen normas en varios países que regulan y respaldan su uso y aplicación en el hormigón. También es importante conocer que las fibras de acero DRAMIX 3D son pequeños filamentos que al ser colocados en la mezcla de hormigón, colaboran a las características mecánicas de la mezcla a que sus partículas se mantengan juntas pese al desgaste o deterioro que este haya sufrido debido a la aplicación de cargas ya a causa del tránsito vehicular, cambios bruscos de clima (al sufrir dilatación del mismo), o algún otro factor externo que podría contribuir con el deterioro o desgaste del hormigón

Este tipo de fibras son pequeños elementos similares a una grapa de sección cilíndrica, donde su relación largo - diámetro (L/D) es muy alta. Estas fibras, como se mencionó anteriormente, ayudan al hormigón a resistir grandes esfuerzos de tracción generados principalmente por la flexión. Esto a su vez, trae consigo varias ventajas en el hormigón, como es la reducción de fisuras. Esto permite generar un ahorro en los costos de mantenimiento de un elemento de hormigón, ya que, el ingreso del agua se limita, debido a que las fibras mantienen al elemento unido por mucho más tiempo que a aquellos hormigones sin fibra.

Para la siguiente disertación se utilizarán fibras de acero de la marca comercial DRAMIX 3D (Fotografía 2-4), por ser un tipo de fibra que se encuentra disponible en el país y ser una de las más utilizadas debido a su amplia aplicación.



Fotografía 2-4. Fibras de Acero DRAMIX 3D

2.1.2.1. FIBRAS DE ACERO DRAMIX

Según IdealAlambrec BEKAERT (IdealAlambrec BEKAERT , 2012) las fibras de acero DRAMIX:

Fabricadas con alambre de acero trefilado de alta resistencia, las fibras de acero DRAMIX poseen extremos conformados para optimizar el anclaje. El encolado en forma de peine evita la formación de bolas o erizos y garantiza un mezclado fácil, rápido y homogéneo de las fibras en el concreto. (pág. 47)

Según (IdealAlambrec BEKAERT , 2012), en una de sus publicaciones menciona lo siguiente: las fibras de acero DRAMIX, brindan la posibilidad de mejorar los diseños con hormigón desde un punto de vista económico ya que con el uso de estas, se reemplazará el uso de la conocida armadura convencional o malla electrosoldada, esto no solo representa una reducción de costo en cuanto al uso de menos acero, sino también la inexistencia de costos de mano de obra especializada para el armado del acero; existirá otros ámbitos en los cuales se vea reflejado la reducción de costo, que aunque menores, de todas formas es ahorro, entre ellos tenemos los gastos por bodegaje y reducción de tiempos en la ejecución de la obra por lo cual desde un punto de vista económico inclinarían al constructor a decidirse por la utilización de fibras de acero DRAMIX. Otro factor muy importante es la calidad de la obra, ya que según testimonios de constructores que han usado la fibra de acero DRAMIX, se observó que las características del hormigón eran difíciles de mejorar ya que tuvo mejoras en varios aspectos como: resistencia al impacto, fatiga, corte, entre otros; además que, con la aplicación de estas fibras se logró un control efectivo de las fisuras y gran capacidad de absorción de energía por parte del hormigón, factores que resaltan la particularidad y eficiencia del producto.

Existen proyectos de magnitudes variables, así como puede darse la construcción de un piso industrial de 40x40 m, puede darse por otro lado la construcción de una vía de 100 km, motivo por el cual distribuye su producto en bolsas recicladas de 20 kg (Fotografía 2-5) o en otras conocidas como big bags que tienen un peso de alrededor de 1 Ton.



Fotografía 2-5. Bolsas Recicladas de 20 kg

Las fibras de acero DRAMIX tienen la marcación CE de la comunidad europea que se rige en la norma EN 14889-1, clasificándolas como sistema nivel o clase 1, esta clasificación quiere decir que las fibras pueden ser utilizadas en concreto, mortero o lechada.

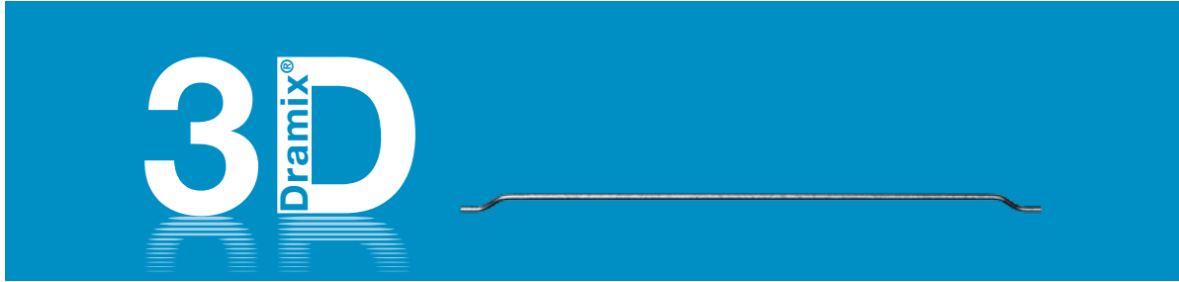
La utilización de fibras de acero DRAMIX, tiene varias ventajas, como por ejemplo (IdealAlambrec, 2014):

- Reducción de tiempo y costo de construcción hasta 30%.
- Ahorro de desperdicios por traslape y armado de refuerzo.
- Ahorro directo en hormigón por vertido directo del mixer en pisos o losas, no se necesita bombeo. El mixer puede transitar sobre terreno compactado.
- Reducción del costo de mantenimiento y construcción de juntas al permitir hacerlas más distanciadas.
- Menor costo de mantenimiento por tener un concreto más durable.
- Incremento de la capacidad de carga frente a los refuerzos convencionales.
- Mayor resistencia a la fatiga y al impacto.
- Mayor velocidad en ejecución comparado con los refuerzos convencionales.
- Mayor durabilidad del concreto por tener mejor control de fisuras.

2.1.2.1.1. TIPOS DE FIBRAS DRAMIX

Según la utilización que se le vaya a dar a las fibras de acero DRAMIX se las puede encontrar en 3 grandes grupos:

- Fibras de acero DRAMIX 3D. (Fotografía 2-6)



Fotografía 2-6. Fibras de acero DRAMIX 3D

- Fibras de acero DRAMIX 4D. (Fotografía 2-7)



Fotografía 2-7. Fibras de acero DRAMIX 4D

- Fibras de acero DRAMIX 5D. (Fotografía 2-8)



Fotografía 2-8. Fibras de acero DRAMIX 5D

Como podemos observar, la diferencia entre esta gama de fibras radica en un pequeño detalle: sus terminaciones en forma de gancho que permiten que se anclen al hormigón.

Las diferencias al usar un tipo de fibra, en lugar de otro, dependerán de las necesidades del proyecto en ejecución. (Tabla 2-2), se debe tomar en cuenta que aquello que se muestra en las tablas, no es más que una recomendación.

	5D	4D	3D
Construcciones y trabajos de ingeniería civil			
Plataformas estructurales ULS			
Estructuras de ingeniería civil			
Puentes			
Plataformas estructurales SLS			
Vías en placa			
Refuerzo secundario			
Carreteras de hormigón			
Hormigón sumergido			
Pavimentación			
Construcciones autoportantes			
Suelo soportado por pilares			
Suelos estructurales			
Pavimentos de alta resistencia			
Losas mixtas			
Suelos uniformes			
Suelos sin juntas			
Suelos con juntas			
Firmes			
Revestimientos adheridos			

Tabla 2-2. Tipos de Fibras (aplicaciones)

Fuente: (BEKAERT, DRAMIX reforzando el futuro, 2012)

A las fibras de DRAMIX también se las puede escoger según sus capacidades, para lo cual se muestra el siguiente cuadro comparativo (Tabla 2-3).
















	5D	4D	3D
Resistencia de anclaje			
Resistencia a la tracción			
Ductilidad del alambre			
Relación L/D			
Resistencia a la tracción del hormigón con fibra de acero			

Tabla 2-3. Tipos de Fibras (capacidades)

Fuente: (BEKAERT, DRAMIX reforzando el futuro, 2012)

Se observa que la fibra de acero DRAMIX 5D proporciona mejores resultados que las fibras 3D y 4D; sin embargo, sin importar la gama de fibra que se escoja o el uso que se les dé, estas reflejarán una mejora en las capacidades mecánicas del hormigón.

Existe además una subclasificación de estas fibras en donde se especifica las características una fibra, por lo cual se tiene una nomenclatura, misma que se muestra a continuación: (Tabla 2-4)

Anclaje	Encolado	Rendimiento (l/d)	Longitud	Acabado	Tensión
R: Gancho	C: Encoladas	45: Estándar	L: En mm	B: Brilloso	N: Normal
O: Recto	L: Sueltas	65: Alta calidad		C: Galvanizado	P: Alta
F: Plano + Gancho		80: Super rendimiento		S: Acero inoxidable	

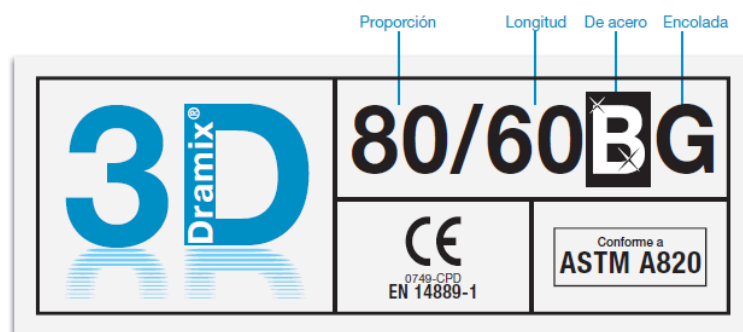
Tabla 2-4. Nomenclatura Fibras de acero DRAMIX

Fuente: (IdealAlambrec BEKAERT, catálogo de productos, 2012)

2.1.2.1.2. FIBRAS DRAMIX 3D/80/60

Existen diversos tipos de fibras de acero DRAMIX por lo que es necesario generar fichas para cada una de ellas, y aún más importante es saber que interpretar la nomenclatura que se muestra en cada ficha, lo cual se explicará a continuación

Ejemplo de ficha: fibra de acero DRAMIX 3D (Fotografía)



Fotografía 2-9. Ficha técnica DRAMIX 3D 80/60

Fuente: (Ficha técnica BEKAERT)

Este tipo de fibra es la que se utilizará para la ejecución del presente trabajo, ya que estas, se comportan de una mejor manera cuando de pavimentos rígidos se trata.

2.2. ENSAYOS AGREGADOS

En esta disertación al tener un enfoque en pavimentos rígidos, es necesario dirigirse a la normativa MOP (2002). ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, Quito - Ecuador; misma que para ciertos parámetros redirecciona a la normativa INEN.

2.2.1. GRANULOMETRÍA

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 696, misma que se basa en la ASTM C-136. Este ensayo permite conocer o determinar la distribución granulométrica de muestras secas de agregados, ya sean finos o gruesos mediante la utilización de tamices por los que pasan o se retienen las partículas de un tamaño determinado, mismo que se encuentra especificado en cada tamiz.

2.2.2. PESO UNITARIO

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 858, misma que se basa en la ASTM C-29. Esta norma permite conocer el peso unitario de los agregados, ya sean finos o gruesos mediante la utilización de un recipiente cilíndrico estándar y una barra compactadora estándar.

El peso unitario se divide en dos grupos, peso unitario compactado y peso unitario suelto de los agregados. El compactado se conoce como la relación entre la masa unitaria compactada (una cantidad de material se pone en un recipiente estándar compactándolo en dicho recipiente) sobre el volumen del recipiente. El suelto se conoce como la relación entre la masa unitaria suelta (una cantidad de material se pone en un recipiente estándar sin compactar) sobre el volumen del recipiente.

2.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 862, misma que se basa en la ASTM C-566. Esta norma permite conocer la humedad natural de los agregados, ya sean finos o gruesos mediante la utilización de un horno capaz de mantener una temperatura uniforme de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

2.2.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA (AGREGADO FINO)

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 856, misma que se basa en la ASTM C-127. Esta norma permite conocer la densidad específica Bulk, gravedad específica aparente, gravedad específica saturada con superficie seca y la absorción del agregado fino mediante la utilización de un molde de forma cónica con 3cm de diámetro arriba y 8,9cm en la parte superior con 7.3 cm de alto, una barra compactadora de superficie plana, un matraz estándar para la realización de esta práctica y un horno capaz de mantener una temperatura uniforme de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

2.2.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA (AGREGADO GRUESO)

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 857, misma que se basa en la ASTM C-128. Esta norma permite conocer la densidad específica Bulk, gravedad específica aparente, gravedad específica saturada con superficie seca y la absorción del agregado grueso mediante la utilización de una balanza hidrostática.

2.2.6. TERRONES DE ARCILLA

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 698, misma que se basa en la ASTM C-142. Esta norma permite conocer de manera aproximada la cantidad de terrones de arcilla de los agregados, ya sean finos o gruesos, mediante la utilización de tamices por los que pasan o se retienen las partículas de un tamaño determinado, mismo que se encuentra especificado en cada tamiz.

2.2.7. MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200 (AGREGADO FINO)

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 697, misma que se basa en la ASTM C-117. Esta norma permite conocer la cantidad de material de agregado fino, que pasa por el tamiz No. 200, mediante un lavado del material con la utilización del tamiz No. 200 por el que pasa o se retiene las partículas del tamaño determinado por el tamiz (0.074mm).

2.2.8. EQUIVALENTE DE ARENA

Este método se encuentra normalizado por la norma AASHO: T-176. Esta norma permite conocer la proporción relativa del contenido de polvo fino o material arcilloso

perjudicial de los agregados finos, mediante la utilización del tamiz No. 4 y una probeta estándar para esta práctica.

2.2.9. CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO (AGREGADO FINO)

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 855, misma que se basa en la ASTM C 40 - 99. Esta norma permite conocer de manera la presencia de compuestos orgánicos perjudiciales, en arenas naturales que vayan a emplearse en hormigones y morteros de cemento, mediante la utilización de una probeta con capacidad de 500 cm³, solución de hidróxido de sodio al 3% y una la tabla de colores estándar para esta práctica.

2.2.10.DESGASTE A LOS SULFATOS

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 863, misma que se basa en la ASTM C-88. Esta norma permite conocer resistencia a la desintegración por saturación en soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio de los agregados, ya sean finos o gruesos, mediante la utilización de tamices por los que pasan o se retienen las partículas de un tamaño determinado, mismo que se encuentra especificado en cada tamiz, solución de sulfato de sodio, recipientes y un horno capaz de mantener una temperatura uniforme de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

2.2.11.DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (AGREGADO GRUESO)

Este método se encuentra normalizado por las normas INEN 861 y 860, mismas que se basan en la ASTM C-131. Esta norma permite conocer la resistencia al desgaste de piedras machacadas escorias machacadas, gravas sin machacar y gravas machacadas de los agregados gruesos, mediante la utilización de la máquina de los ángeles, esferas de desgaste estándar, tamices por los que pasan o se retienen las partículas de un tamaño determinado, mismo que se encuentra especificado en cada tamiz y una balanza con una sensibilidad 0,1% de la masa de muestra

2.3. ENSAYOS CEMENTO

2.3.1. FINURA DEL CEMENTO

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 196. Esta norma permite determinar la finura del cemento, mediante la utilización de Permeámetro de Blaine, celda de permeabilidad, disco perforado, émbolo, papel filtro, manómetro, líquido manométrico, y cronómetro

2.3.2. TIEMPO DE FRAGUADO

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 158, misma que se basa en la ASTM C 191-79. Esta norma permite conocer el tiempo de fraguado del cemento, mediante la utilización de aparato de Vicat, probetas graduadas con capacidad de 100 a 200 cm³ y un molde cónico estándar para esta práctica

2.3.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 156, misma que se basa en la ASTM C-188. Esta norma permite conocer la gravedad específica del cemento, mediante la utilización de matraz Le chazelier, termómetro y balanza con sensibilidad de 0.1 g

2.3.4. ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN MORTEROS DE CEMENTO

Este método se encuentra normalizado por la norma INEN 488, misma que se basa en la ASTM C-109. Esta norma permite conocer la resistencia a la compresión de morteros de cemento, usando especímenes cúbicos de 50 mm de arista, mediante la utilización de moldes para los especímenes cúbicos de 50 mm de arista, estos no deben tener más de 3 compartimentos, ni constar de más de 2 elementos separables, mezcladora estándar para este ensayo, máquina de ensayo para realizar la compresión de los cubos y un pequeño apisonador.

2.4. ENSAYOS HORMIGÓN

2.4.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO - NTE INEN 1573

Esta norma establece el método para la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, utilizando estos resultados como base para el control de calidad de la dosificación del hormigón, operaciones de mezclado y colocación. A su vez en esta disertación esta prueba permite observar la acción de las fibras de acero en la mezcla ya que el espécimen ensayado no se rompe explosivamente como lo hace el hormigón sin fibra; esto se debe a la disposición de las fibras en la mezcla que mantiene unido al hormigón cuando este falla.

2.4.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (LOP), RESISTENCIA RESIDUAL) - NTE INEN 3063

Esta norma presenta un método para determinar la resistencia a la tracción por flexión de vigas de hormigón con fibras de acero, evaluando su resistencia residual. Existen dos formas para la obtención de datos del ensayo que se basan en la medición de:

- El desplazamiento del borde de la apertura de la boca de fisura (CMOD: Crack Mouth Opening Displacement).
- La flecha (δ).

A partir de estas se genera la curva junto con el valor de la carga puntual – lineal que se aplica en el centro de la probeta, que posee una entalladura y esta simplemente apoyada.

En esta disertación se trabaja con la medición de la flecha y a continuación se detalla las características relevantes del ensayo.

2.4.2.1. PROBETAS

Según esta norma las probetas deben cumplir con las siguientes dimensiones:

Dimensiones de las probetas	
Altura (mm)	150

Ancho (mm)	150
Longitud L (mm)	$550 \leq L \leq 700$

Tabla 2-5 Dimensiones de las probetas

Con esta forma y tamaño se consigue que el hormigón permita áridos de máximo 32 mm y/o fibras de acero de una longitud máxima de 60 mm

Probetas utilizadas en la disertación:

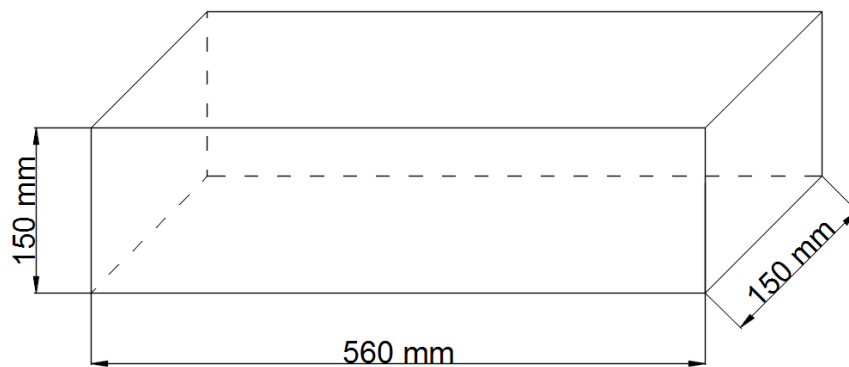


Figura 2-1 Probetas tipo utilizadas.

2.4.2.2. ENTALLADURA DE LAS PROBETAS

Para realizar la entalladura, el corte debe ser por vía húmeda, se utiliza una sierra circular con una hoja de diamante o similar; siendo este un corte transversal en el centro del vano en el ancho de la probeta de las siguientes cualidades.

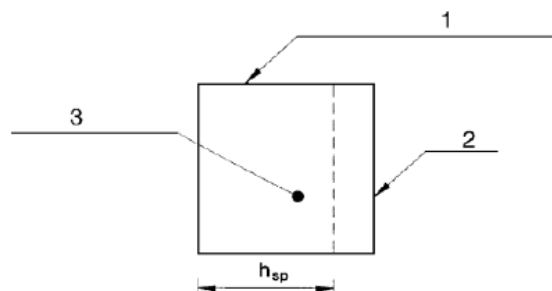


Figura 2-2 Posición de la entalladura cortada en la probeta antes de la rotación (Sección transversal en el centro de la probeta)

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Donde:

1: Superficie superior durante el moldeado.

2: Entalladura.

3: Sección transversal de la probeta.

h_{sp} : Distancia de $125 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$

Ancho de la entalladura: Distancia $\leq 5 \text{ mm}$

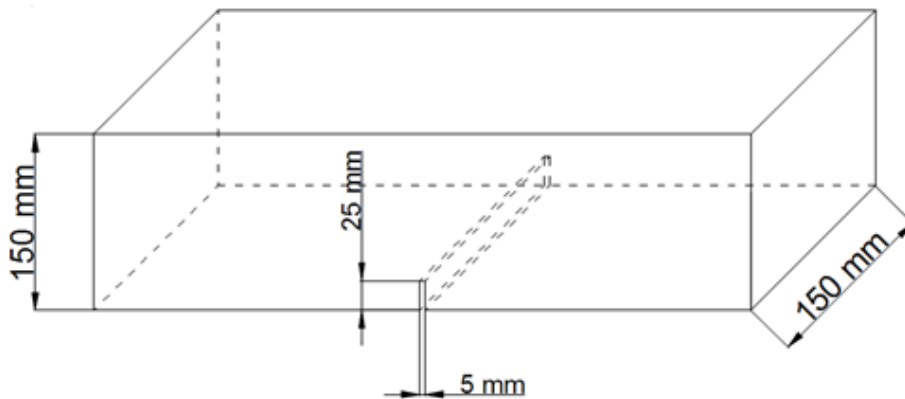


Figura 2-3 Entalladura en probetas tipo utilizadas.

2.4.2.3. CONFIGURACIÓN DE LA CARGA

La carga debe ser aplicada controlando la velocidad de crecimiento de la flecha, ya que cuando ésta alcance el valor de $\delta = 0,13 \text{ mm}$, existe un cambio de velocidad como se indica. El ensayo debe finalizar cuando el valor de la flecha sea igual o superior a $3,44 \text{ mm}$.

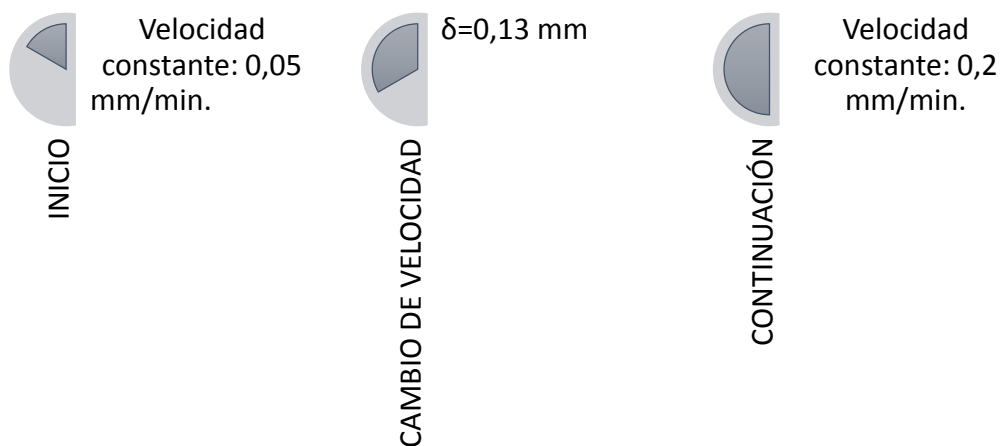


Figura 2-4 Configuración de la carga

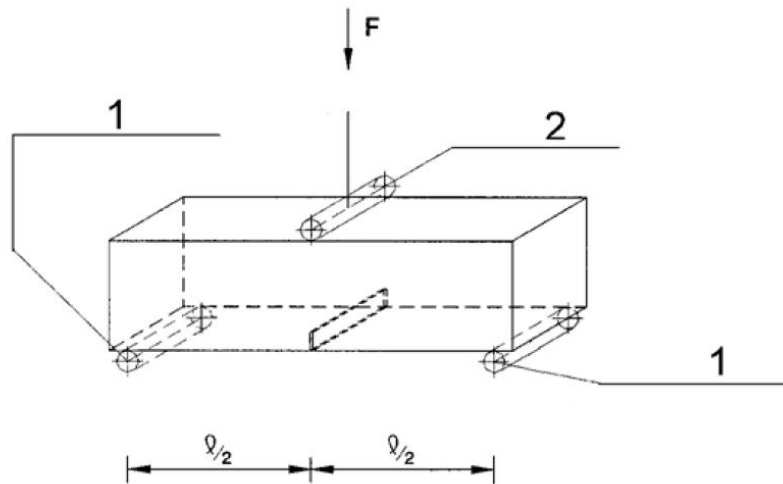


Figura 2-5. Configuración de la carga sobre la probeta

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

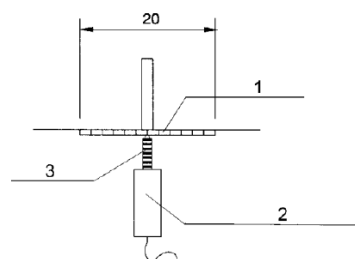
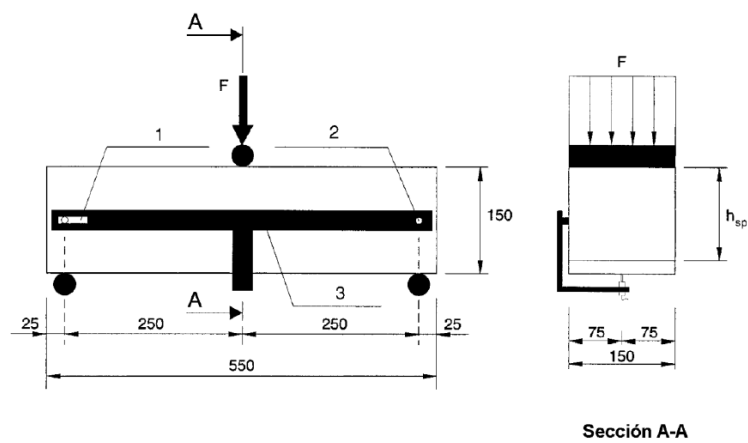
Donde:

1: Rodillo de apoyo

2: Rodillo de carga

l : Longitud del vano (500 mm)

F: Carga puntual-lineal



Donde:

1: Dispositivo de fijación deslizante

2: Dispositivo de fijación rotativo

3: Bastidor rígido

Donde:

1: Placa de aluminio de 1 mm de espesor

2: Transductor (Transformador diferencial lineal variable)

3: Árbol de muelle

Figura 2-6 Configuración típica para la determinación de la flecha (Dimensiones en milímetros)

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)



Fotografía 2-10. Colocación de Dispositivo en las Vigas



Fotografía 2-11. Viga durante el Ensayo

2.4.2.4. CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN

$$f = \frac{3 F l}{2 b h_{sp}^2}$$

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Donde:

f : Resistencia a la tracción por flexión. (N/mm^2)

F : Carga aplicada (N)

l : Longitud del vano (mm)

b : Ancho de la probeta (mm)

h_{sp} : Distancia entre el fondo de la entalladura y la parte superior de la probeta (mm)

2.5. DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

2.5.1. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Si el asentamiento no es especificado, se puede utilizar los valores de la tabla siguiente. Los rangos de asentamientos indicados son aplicables cuando la vibración es usada para consolidar el hormigón. (Tabla 2-6)

Construcción de Concreto	Revenimiento, mm (in)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Hormigón en masa	75 (3)	25 (1)

*puede incrementarse 2.5 cm para métodos de consolidación distintos a la vibración.

Tabla 2-6. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción (Adaptada de ACI 211.1)

Fuente: (PCA, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

2.5.2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO

Según (ACI 318): El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe exceder al menor de (i), (ii), y (iii):

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado
- 1/3 del espesor de las losas
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, refuerzo preesforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos.

2.5.3. ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

En la Tabla 2-7, se presenta una estimación del agua de mezclado en función del tamaño máximo

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

** El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Tabla 2-7: Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado (Adaptada ACI 211)

Fuente: (PCA, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

2.5.4. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C)

El requerimiento de la relación agua-cemento no solo puede ser determinado por la resistencia que se busca, sino también, por el factor durabilidad.

2.5.4.1. POR RESISTENCIA

Se tiene la (Tabla 2-8) adaptada de ACI 211.1 para hormigones que utilizan cemento Portland Tipo I.

Table 9-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm. Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Tabla 2-8: Relación agua/cemento y Resistencia a la compresión del hormigón

Fuente: (PCA, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

2.5.4.2. RESISTENCIA DE DISEÑO

Se requiere definir un factor de seguridad para la resistencia de diseño, este factor puede variar entre 3% y 12%, dependiendo de los materiales a usarse y las condiciones de trabajo.

$$f'_c (\text{Diseño}) = f'_c (\text{Requerida}) * \left[1 + \frac{\% \text{ factor de seguridad}}{100} \right]$$

En función de la resistencia de diseño finalmente se interpola los valores de la relación de agua y material cementante de la tabla indicada a continuación (Tabla 2-9); se utilizan los valores modificados por el Ingeniero Lauro Lara, docente de la Pontificia Universidad Católica de Quito, de la Facultad de Ingeniería, que debido a su experiencia a lo largo de su vida profesional le ha permitido establecer valores referenciales para el cemento que se comercializa en el país. Así mismo, el (MOP, 2002) sugiere: para estructuras como obras de gran envergadura, puentes, elementos prefabricados, etc., utilizar un valor de relación Agua/Cemento igual a 0.44

Resistencia compresión 28 días ² kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, P,(Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0.42	0.33
350 (35)	0.47	0.38
300 (30)	0.54	0.43
250 (25)	0.61	0.50
200 (20)	0.69	0.58
150 (15)	0.79	0.67

Tabla 2-9: Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto. Adaptada del ACI 211.1 y ACI 211.3

2.5.5. CONTENIDO DE CEMENTO

Definida la relación a/c y el agua de mezclado, el contenido de cemento por unidad de volumen del hormigón se obtiene por la relación:

$$\text{Contenido de cemento } \left(\text{Kg}/\text{m}^3 \right) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado } \left(\text{Kg}/\text{m}^3 \right)}{\text{Relación } \bar{a}/c}$$

2.5.6. CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO

2.5.6.1. PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN (UM)

$$Um = 10Ga(100 - A) + Cm(1 - Ga/Gc) - Wm(Ga - 1)$$

$$Ga = \frac{G. \text{ Fino SSS} + G. \text{ Grueso SSS}}{2}$$

Ga: Gravedad específica SSS, promedio, del agregado fino y grueso

Gc: Gravedad específica del cemento

A: % de Aire contenido (%)

Cm: Contenido de cemento $\left(\text{Kg}/\text{m}^3 \right)$

Wm: Agua neta $\left(\text{Kg}/\text{m}^3 \right)$

2.5.6.2. AGREGADOS EN ESTADO S.S.S.

$$Agregados\ SSS\ (Kg/m^3) = Um - Wm - Cm$$

Con los datos anteriores se establece el porcentaje de agregado fino y grueso; y se define la cantidad por metros cúbicos de cada agregado en condición SSS.

$$Agregado\ Fino\ SSS\ (Kg/m^3) = Agregados\ SSS * \frac{\% A. Fino}{100}$$

$$Agregado\ Grueso\ SSS\ (Kg/m^3) = Agregados\ SSS * \frac{\% A. Grueso}{100}$$

2.5.6.3. AGREGADOS EN ESTADO NATURAL

Se calcula tanto para el agregado fino, como grueso, con los respectivos datos de porcentaje de humedad natural (% hn) y porcentaje de absorción (% Abs) de cada agregado.

$$Masa\ Seca\ (Kg/m^3) = \frac{Masa\ SSS}{1 + \% Abs/100}$$

$$Masa\ Natural\ (Kg/m^3) = Masa\ Seca * (1 + \% hn/100)$$

2.5.7. AGUA DE MEZCLA

$$Agua\ de\ mezcla = Agua\ Neta + M. Seca\ Fino * \frac{\% Abs - \% hn}{100} + M. Seca\ Grueso * \frac{\% Abs - \% hn}{100}$$

CAPÍTULO III

3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

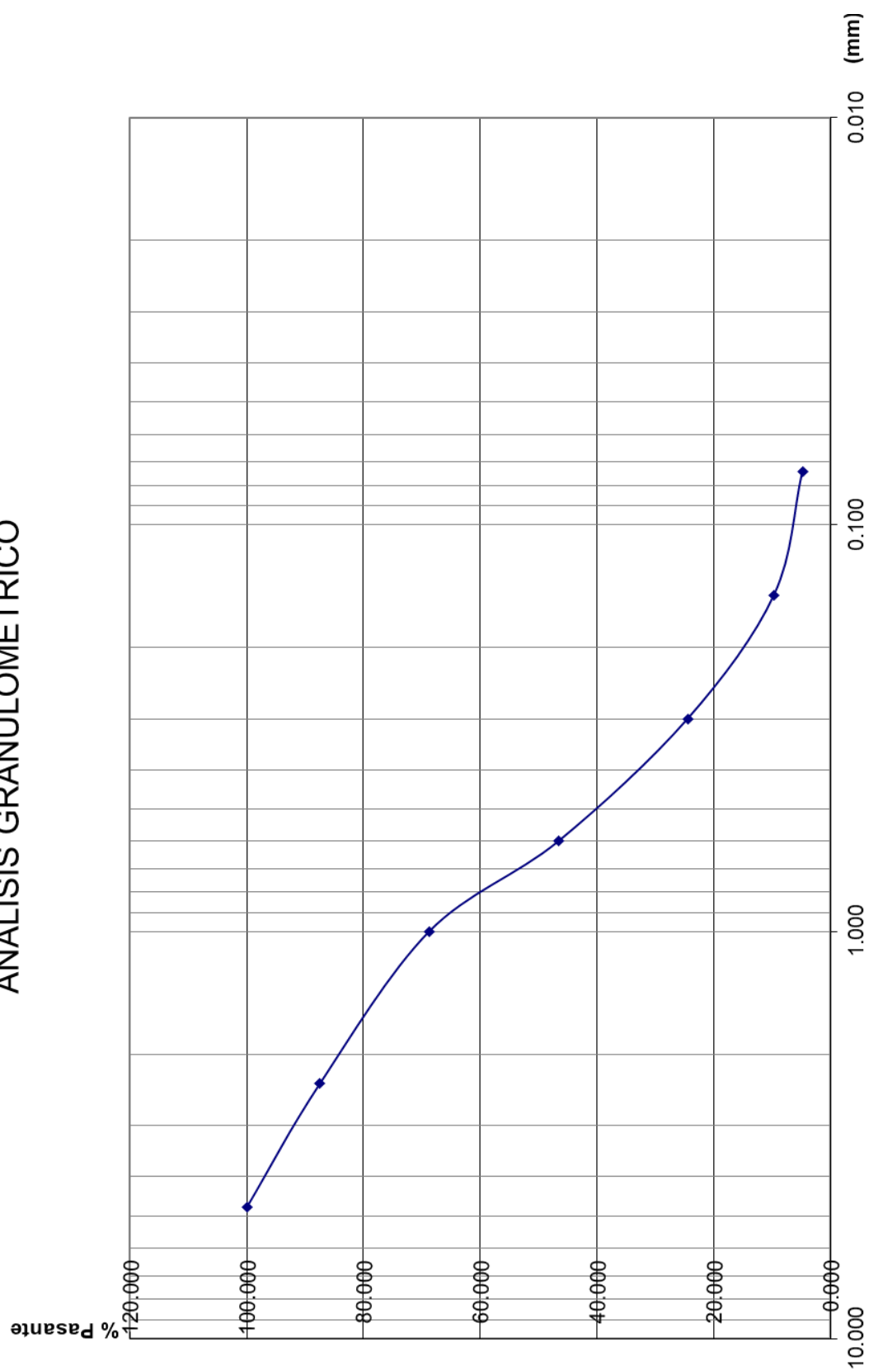
3.1. ENSAYOS AGREGADO FINO (ARENA – HOLCIM PIFO)

3.1.1. GRANULOMETRÍA

Fino							
NÚMERO Y TAMAÑO DE ABERTURA			Masa Retenida (g)	Masa que Pasa (g)	Porcentaje que Pasa %	Rango de Porcentaje que pasa % NTE INEN 872	Comprobación NTE INEN 872
# tamiz	mm	in					
Nº4	4.760	0.187	0.000	1001.000	100.000	95 - 100	OK
Nº8	2.360	0.093	125.679	875.321	87.445	80 - 100	OK
Nº18	1.000	0.039	187.041	688.280	68.759	50 - 85	OK
Nº30	0.600	0.024	221.787	466.493	46.603	25 - 60	OK
Nº50	0.300	0.012	221.787	244.705	24.446	5 - 30	OK
Nº100	0.149	0.006	147.858	96.847	9.675	0 - 10	OK
Nº200	0.074	0.003	48.793	48.054	4.801		
Bandeja			48.054	0.000	0.000		
			1001.000				

Tabla 3-1. Granulometría (Agregado Fino)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Gráfica 3-1. Granulometría (Agregado Fino)

3.1.2. PESO UNITARIO

Peso Unitario	
Descripción	Fino
Masa del Molde (g)	5048
Volumen del Molde (cm ³)	2980
Molde + Mat. Compacto (g)	10485
Molde + Mat. Suelto (g)	9669
Mc (g)	5437
Puc (g/cm ³)	1.824
Pus (g/cm ³)	1.551

Tabla 3-2. Peso Unitario. (Agregado Fino)

3.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Humedad Natural			
Cápsula N°	Material Húmedo (g)	Material Seco (g)	Contenido de Humedad w (%)
1	328	320.5	2.34
2	379.7	371.2	2.29
		Promedio	2.31

Tabla 3-3. Humedad Natural. (Agregado Fino)

3.1.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

Gravedad Específica y Absorción	
Descripción	Fino
Masa Matraz (g)	160
Matraz + Agua + Muestra (g)	971.9
Masa SSS (g)	500
Masa de la Muestra Seca (g)	494.100
Ma (g)	311.900
Ge	2.627
Ges	2.658
Gea	2.712
Absorción (%)	5.798

Tabla 3-4. Gravedad Específica y Absorción. (Agregado Fino)

3.1.5. TERRONES DE ARCILLA

Porcentaje de Terrones de Arcilla	
Muestra N°	1
Descripción	Material retenido en tamiz N°16
Masa inicial (g)	369.4
Masa retenida en el tamiz N°20 (g)	368.4
Porcentaje (%)	0.27
Comprobación NTE INEN 698 (% < 3)	OK

Tabla 3-5. Porcentaje de Terrones de Arcilla. (Agregado Fino)

3.1.6. MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200

Material Fino que pasa el Tamiz No. 200			
Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Material que pasa el Tamiz No. 200 (%)	Comprobación NTE INEN 697 (% < 3)
500	490.7	1.86	OK

Tabla 3-6. Material que pasa el Tamiz #200. (Agregado Fino)

3.1.7. EQUIVALENTE DE ARENA

Equivalente Arena			
Ensayo N°	Lectura Inicial (in)	Lectura Final (in)	Equivalente de Arena (%)
1	4.9	3.8	78
2	4.7	3.6	77
Promedio			77

Tabla 3-7. Equivalente de Arena. (Agregado Fino)

3.1.8. CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO

Contenido Orgánico	
N° en Tabla	Interpretación
0	No existe Cont. Orgánico en la muestra

Tabla 3-8. Contenido de Material Orgánico. (Agregado Fino)

3.1.9. DESGASTE A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

Desgaste a la Acción de Sulfatos						
Número del Tamiz		Retenido Parcial del agregado %	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones después del ensayo (g)	Pasa (El tamiz + fino después del ensayo) %	Desgaste Parcial %
Pasa	Retiene					
N°. 8	N°. 16	37.45	100	87.1	12.90	4.83
N°. 16	N°. 30	39.53	100	85	15.00	5.93
N°. 30	N°. 50	62.50	100	83.2	16.80	10.50
N°. 50	Bandeja	82.64	100	82.1	17.90	14.79

Tabla 3-9. Desgaste a la Acción de los Sulfatos. (Agregado Fino)

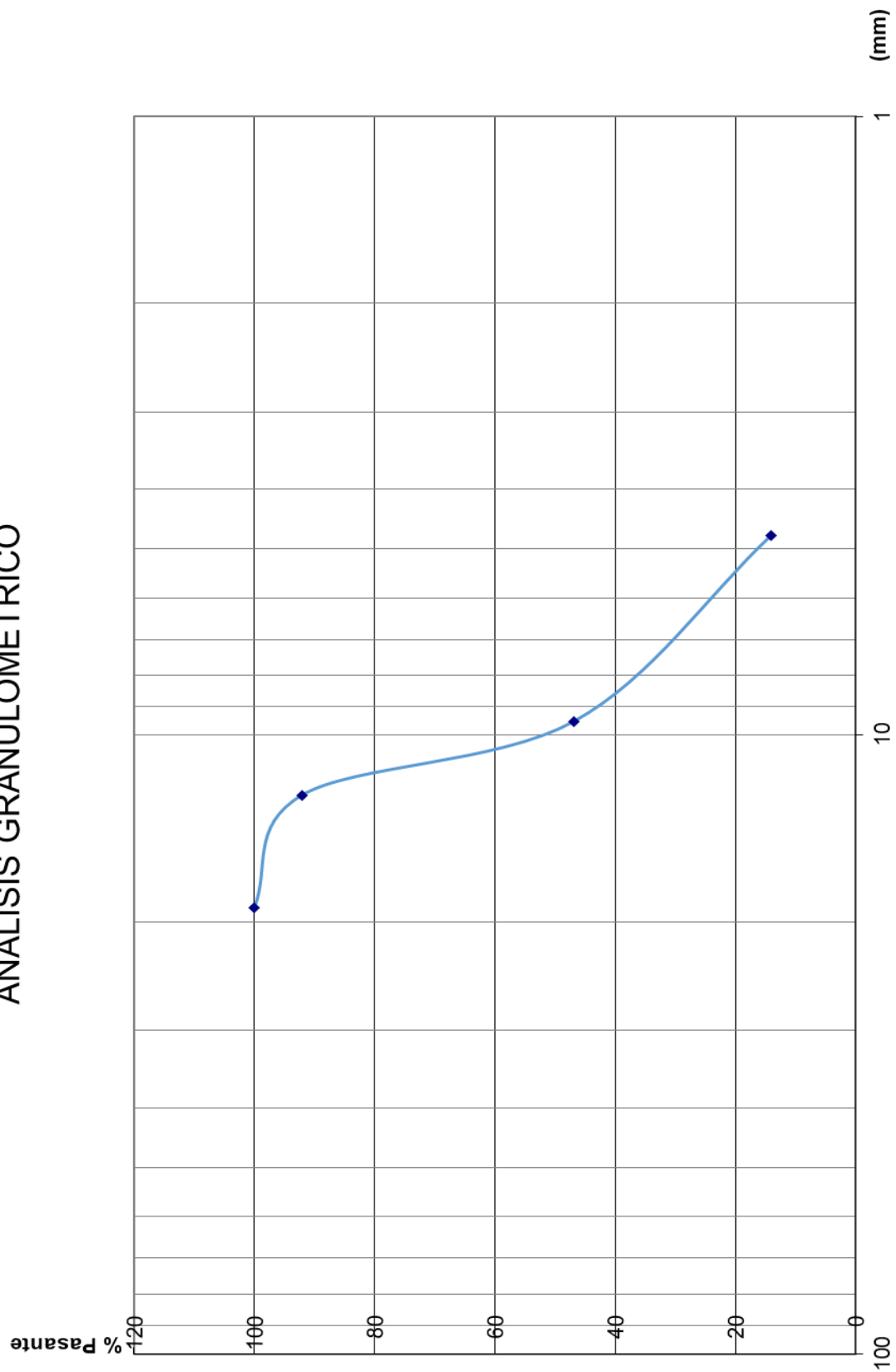
3.2. ENSAYOS AGREGADO GRUESO (MATERIAL #7 – HOLCIM PIFO)

3.2.1. GRANULOMETRÍA

#7							
NÚMERO Y TAMAÑO DE ABERTURA			Masa Retenida (g)	Masa que Pasa (g)	Porcentaje que Pasa %	Rango de Porcentaje que pasa % NTE INEN 872	Comprobación NTE INEN 872
# tamiz	mm	in					
3/4	19.1	0.7480	0.00	10030.00	100	100	OK
1/2	13.0	0.4921	800.00	9230.00	92.02	90 - 100	OK
3/8	9.5	0.3740	4532.92	4697.08	46.83	40 - 70	OK
Nº4	4.8	0.1874	3281.80	1415.28	14.11	0 - 15	OK
Bandeja	-	-	1415.28	0.00	0		
			10030.00				

Tabla 3-10. Granulometría. (Agregado Grueso)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Gráfica 3-2. Granulometría (Agregado Grueso)

3.2.2. PESO UNITARIO

Peso Unitario	
Descripción	# 7
Masa del Molde (g)	3814
Volumen del Molde (cm ³)	6878
Molde + Mat. Compacto (g)	13602
Molde + Mat. Suelto (g)	12524
Mc (g)	9788
Puc (g/cm ³)	1.423
Pus (g/cm ³)	1.266

Tabla 3-11. Peso Unitario. (Agregado Grueso)

3.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

Humedad Natural			
Cápsula N°	Material Húmedo (g)	Material Seco (g)	Contenido de Humedad w (%)
1	347.8	344.1	1.08
2	306.1	302.6	1.16
		Promedio	1.12

Tabla 3-12. Humedad Natural. (Agregado Grueso)

3.2.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA

Gravedad Específica y Absorción	
Descripción	# 7
Masa SSS (g)	3549
Masa de la Muestra Seca (g)	3478
Masa Sumergida en agua (g)	2204
Ge	2.350
Ges	2.442
Gea	2.630
Ab (%)	4.160

Tabla 3-13. Gravedad Específica y Absorción. (Agregado Grueso)

3.2.5. TERRONES DE ARCILLA

Porcentaje de Terrones de Arcilla					
Tamiz		Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones después del ensayo (g)	Porcentaje de terrones %	Comprobación NTE INEN 698 (% < 5)
Pasa	Retiene				
3/4	1/2	800	799	0,125	OK
1/2	3/8	1000	996,6	0,34	OK
3/8	N°4	500,1	499,3	0,15996801	OK

Tabla 3-14. Porcentaje de Terrones de Arcilla. (Agregado Grueso)

3.2.6. DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Material	# 7
Tipo de gradación	C
N° de revoluciones (rpm)	500
Masa inicial (g)	5000
Masa retenida en el tamiz #200 (g)	3850
Porcentaje de desgaste %	23
Comprobación NTE INEN 860 (% < 50)	OK

Tabla 3-15. Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles. (Agregado Grueso)

3.2.7. DESGASTE A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

Durabilidad a la Acción de Sulfatos - # 7							
Número del Tamiz		Retenido Parcial del agregado %	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones después del ensayo (g)	Pasa (El tamiz + fino después del ensayo) %	Desgaste Parcial %	Comprobación NTE INEN 863 (% < 12)
Pasa	Retiene						
1/2	5/16	43.11	670	659.8	1.52	0.66	OK
3/8	5/16	8.06	330.4	318.7	3.54	0.29	OK
N°. 4	N°. 5	7.44	300	293.6	2.13	0.16	OK

Tabla 3-16. Durabilidad a la Acción de Sulfatos. (Agregado Grueso)

3.3. RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN

Acorde a los parámetros de diseño y caracterización de los agregados, que se detallan anteriormente, se tienen los siguientes resultados:

Asentamiento: 7 cm (Pavimentos)

$$f'_c \text{ (Requerida)} = 315 \text{ Kg/cm}^2$$

Según la (MOP, 2002) sugiere, para estructuras como: obras de gran envergadura, puentes, elementos prefabricados, etc., utilizar un valor de resistencia a la compresión f'_c mayor a 280 Kg/cm^2 .

% Absorción fino: 5.80 %

% Absorción grueso: 4.16 %

% Humedad fino: 2.31 %

% Humedad grueso: 1.12 %

Gravedad específica SSS (agregados): 2.55

Gravedad específica cemento: 3

Tamaño Máximo Nominal: 19.1 mm

Wm: Agua neta: 210 Kg/m^3

A: % Aire: 2.0 %

Para la relación agua/ cemento:

% Factor de seguridad: 3 %

$$f'_c \text{ (Diseño)} = 315 \text{ Kg/m}^3 * \left[1 + \frac{3\%}{100} \right] = 324.5 \text{ Kg/m}^3$$

Interpolando de la Tabla 2-9:

$$\text{Relación } \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = 0.43 + \frac{0.38 - 0.43}{350 - 300} * (324.5 - 300) = 0.406$$

Contenido de cemento:

$$Cm: \text{Contenido de cemento} \left(Kg/m^3 \right) = \frac{210 \text{ Kg}/m^3}{0.406} = 518 \text{ Kg}/m^3$$

Cantidad de agregado grueso y agregado fino:

- Peso unitario del hormigón (Um)

$$Ga = \frac{2.658 + 2.442}{2} = 2.55$$

$$Um = 10 * 2.55(100 - 2) + 518 \text{ Kg}/m^3 \left(1 - \frac{2.55}{3} \right) - 210 \text{ Kg}/m^3 (2.55 - 1)$$

$$Um = 2251 \text{ Kg}/m^3$$

$$\text{Agregados SSS} = 2251 \text{ Kg}/m^3 - 210 \text{ Kg}/m^3 - 518 \text{ Kg}/m^3$$

$$\text{Agregados SSS} = 1523 \text{ Kg}/m^3$$

$$\text{Agregado Fino SSS} = 1523 \text{ Kg}/m^3 * \frac{52}{100} = 792 \text{ Kg}/m^3$$

$$\text{Agregado Grueso SSS} = 1523 \text{ Kg}/m^3 * \frac{48}{100} = 731 \text{ Kg}/m^3$$

Agregados en estado natural:

$$\text{Masa Seca Fino} = \frac{792 \text{ Kg}/m^3}{1 + \frac{5.80}{100}} = 749 \text{ Kg}/m^3$$

$$\text{Masa Natural Fino} = 749 \text{ Kg}/m^3 * \left(1 + \frac{2.31}{100} \right) = 766 \text{ Kg}/m^3$$

$$\text{Masa Seca Grueso} = \frac{731 \text{ Kg}/m^3}{1 + \frac{4.16}{100}} = 702 \text{ Kg}/m^3$$

$$\text{Masa Natural Grueso} = 702 \text{ Kg}/m^3 * \left(1 + \frac{1.12}{100} \right) = 710 \text{ Kg}/m^3$$

Agua de mezcla:

$$\text{Agua de mezcla} = 210 \text{ Kg/m}^3 + 749 \text{ Kg/m}^3 * \frac{5.80 - 2.31}{100} + 702 \text{ Kg/m}^3 * \frac{4.16 - 1.12}{100}$$

$$\text{Agua de mezcla} = 273 \text{ Kg/m}^3$$

Resumiendo:

Resumen		
Componentes	Kg/m3	Kilogramos para 0.038 m ³ (concretera)
Agua de Mezcla	257	9.8
Cemento	518	19.7
A. Fino (Arena Natural)	766	29.1
A. Grueso (Ripio Natural)	710	27.0

Tabla 3-17. Tabla de resumen diseño de la mezcla de hormigón

3.4. ENSAYOS CEMENTO (TIPO HE – HOLCIM)

3.4.1. FINURA DEL CEMENTO

Finura. Método Blaine		
Cemento Tipo	Ensayo	Finura (m ² /kg)
III	1	306.58
III	2	305.97
III	3	306.25

Tabla 3-18. Finura del Cemento

La norma NTE INEN 152 especifica valores mínimos de finura de 260 m²/kg para cementos tipo: I, IA, II, IIA, y V; también especifica valores de finura de entre 260 y 430 m²/kg para cementos tipo: II(MH), II(MH)A y IV, motivo por el cual se considera que los valores de finura de nuestro cemento HOLCIM tipo III se encuentran dentro de un rango aceptable.

3.4.2. TIEMPO DE FRAGUADO

Tiempo de fraguado. Método Vicat			
Cemento Tipo	Ensayo	Tiempo (min)	Comprobación NTE INEN 152 (entre 45 y 375)
III	1	95	OK
III	2	95	OK
III	3	95	OK
III	4	95	OK
III	5	95	OK
III	6	95	OK

Tabla 3-19. Tiempo de Fraguado del Cemento

3.4.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO

Gravedad Específica		
Cemento Tipo	Ensayo	Gravedad Específica
III	1	3.1
III	2	2.9
III	3	3

Tabla 3-20. Gravedad Específica del Cemento

3.4.4. COMPRESIÓN DE MORTEROS

Cemento Tipo	Resistencia a la Compresión						
	Ensayo	Días	Alto (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Resistencia a los 28 días (MPa)	Comprobación NTE INEN 152
III	1	1	50.1	50.1	50	10.2	OK
III	2	1	50.1	50.2	50.1	9.9	OK
III	3	3	50.3	50.2	50.2	22.3	OK
III	4	3	50.5	51	50.3	21.8	OK
III	5	7	50.2	50.5	50	35.6	No especifica
III	6	7	50.3	50.1	50.1	36.8	No especifica

Tabla 3-21. Compresión de Morteros. Cemento

3.5. ENSAYOS DEL HORMIGÓN

3.5.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS

3.5.1.1. PRIMERA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (0 KG/M3)

Muestra	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Dosificación Fibra (Kg/m3)	0	0	0	0	0	0
Fecha de fabricación	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017
Fecha de ensayo	19/09/2017	19/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	10/10/2017	10/10/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.77	154.20	153.37	152.70	150.20	152.23
Diámetro 2 (mm)	151.99	154.25	153.58	153.10	150.53	152.94
Altura 1 (mm)	304	305	305	305	300	304
Altura 2 (mm)	304	305	305	304	300	304
Altura 3 (mm)	304	305	305	305	300	305
Masa (Kg)	12.64	12.96	13.01	12.85	12.30	12.81
Carga máxima (KN)	575.56	578.90	696.02	691.23	781.00	750.00
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	304.00	305.00	305.00	304.67	300.00	304.33
Diámetro Promedio (mm)	151.88	154.23	153.48	152.90	150.37	152.59
Área Promedio (mm2)	18117.20	18682.18	18500.93	18361.36	17758.75	18286.98
Resistencia (MPa)	31.77	30.99	37.62	37.65	43.98	41.01

Tabla 3-22. Primera Dosificación (0 Kg/m3)

3.5.1.2. SEGUNDA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (5 KG/M3)

Muestra	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Dosificación Fibra (Kg/m3)	5	5	5	5	5	5
Fecha de fabricación	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017
Fecha de ensayo	22/09/2017	22/09/2017	29/09/2017	29/09/2017	13/10/2017	13/10/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro 1 (mm)	153.01	150.59	149.85	151.82	153.93	150.55
Diámetro 2 (mm)	153.31	151.21	150.02	151.66	153.93	150.27
Altura 1 (mm)	306	303	306	305	304	300
Altura 2 (mm)	305	304	305	305	305	300
Altura 3 (mm)	306	303	306	305	304	301
Masa (Kg)	13.00	12.41	12.77	13.05	12.94	12.96
Carga máxima (KN)	610.00	629.60	721.50	710.40	804.60	750.80
Tipo de falla	IV	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	305.67	303.33	305.67	305.00	304.33	300.33
Diámetro Promedio (mm)	153.16	150.90	149.94	151.74	153.93	150.41
Área Promedio (mm2)	18423.86	17884.15	17657.32	18083.81	18609.57	17768.19
Resistencia (MPa)	33.11	35.20	40.86	39.28	43.24	42.26

Tabla 3-23. Segunda Dosificación (5 Kg/m3).

3.5.1.3. TERCERA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (10 KG/M3)

Muestra	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
Dosificación Fibra (Kg/m3)	10	10	10	10	10	10
Fecha de fabricación	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017
Fecha de ensayo	25/09/2017	25/09/2017	02/10/2017	02/10/2017	17/10/2017	17/10/2017
Días curación	7	7	14	14	29	29
Diámetro 1 (mm)	153.60	154.34	148.07	150.60	152.33	151.31
Diámetro 2 (mm)	153.44	154.03	148.50	150.73	152.67	150.18
Altura 1 (mm)	304	305	303	304	302	300
Altura 2 (mm)	305	304	300	304	302	300
Altura 3 (mm)	306	305	300	305	302	300
Masa (Kg)	13.06	13.02	12.25	12.87	12.67	12.41
Carga máxima (KN)	660.10	658.50	699.00	735.40	789.40	798.40
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	305.00	304.67	301.00	304.33	302.00	300.00
Diámetro Promedio (mm)	153.52	154.19	148.29	150.67	152.50	150.75
Área Promedio (mm2)	18510.57	18672.49	17270.85	17829.68	18265.42	17848.62
Resistencia (MPa)	35.66	35.27	40.47	41.25	43.22	44.73

Tabla 3-24. Tercera Dosificación (10 Kg/m3).

3.5.1.4. CUARTA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (20 KG/M3)

Muestra	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6
Dosificación Fibra (Kg/m3)	20	20	20	20	20	20
Fecha de fabricación	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017
Fecha de ensayo	03/10/2017	03/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	24/10/2017	24/10/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.94	148.70	151.13	153.35	150.44	149.65
Diámetro 2 (mm)	151.83	148.70	151.56	153.46	150.62	150.47
Altura 1 (mm)	307	305	304	304	302	302
Altura 2 (mm)	305	302	304	304	304	302
Altura 3 (mm)	305	302	304	305	303	302
Masa (Kg)	13.04	12.41	12.79	12.86	12.37	12.29
Carga máxima (KN)	645.40	640.30	720.50	764.50	790.40	802.60
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	305.67	303.00	304.00	304.33	303.00	302.00
Diámetro Promedio (mm)	151.89	148.70	151.35	153.41	150.53	150.06
Área Promedio (mm2)	18119.58	17366.48	17990.98	18484.05	17796.56	17685.60
Resistencia (MPa)	35.62	36.87	40.05	41.36	44.41	45.38

Tabla 3-25. Cuarta Dosificación (20 Kg/m3).

3.5.1.5. QUINTA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (25 KG/M3)

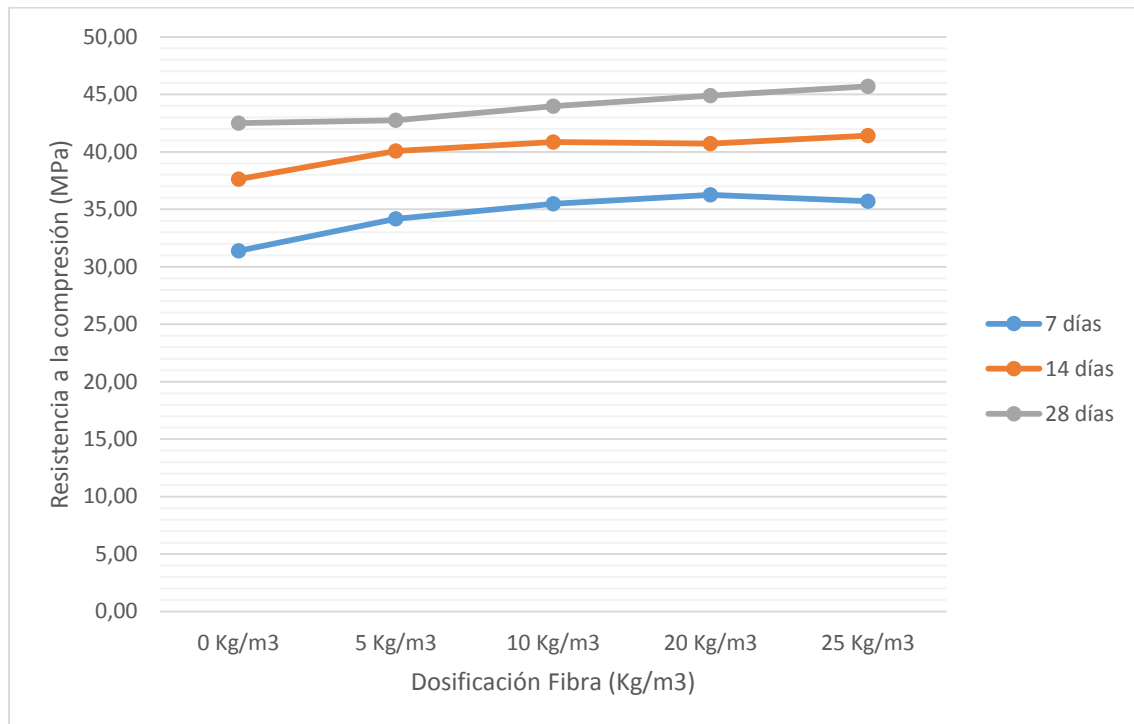
Muestra	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6
Dosificación Fibra (Kg/m3)	25	25	25	25	25	25
Fecha de fabricación	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017
Fecha de ensayo	17/10/2017	17/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	07/11/2017	07/11/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro 1 (mm)	153.48	153.10	150.43	150.21	153.70	151.53
Diámetro 2 (mm)	153.41	153.03	150.42	150.38	153.14	151.57
Altura 1 (mm)	303	304	304	303	305	304
Altura 2 (mm)	304	305	304	301	305	305
Altura 3 (mm)	304	304	304	302	305	305
Masa (Kg)	13.22	13.08	12.72	12.42	13.14	12.78
Carga máxima (KN)	656.80	660.20	734.80	735.70	893.50	776.90
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	303.67	304.33	304.00	302.00	305.00	304.67
Diámetro Promedio (mm)	153.45	153.07	150.43	150.30	153.42	151.55
Área Promedio (mm2)	18493.69	18402.21	17772.92	17742.22	18486.46	18038.56
Resistencia (MPa)	35.51	35.88	41.34	41.47	48.33	43.07

Tabla 3-26. Quinta Dosificación (25 Kg/m3).

3.5.1.6. RESUMEN

Dosificación Fibra (Kg/m3)	Resistencia a la compresión (MPa)		
	7 días	14 días	28 días
0 Kg/m3	31.38	37.64	42.50
5 Kg/m3	34.16	40.07	42.75
10 Kg/m3	35.47	40.86	43.98
20 Kg/m3	36.25	40.71	44.90
25 Kg/m3	35.70	41.41	45.70

Tabla 3-27. Resumen resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.



Gráfica 3-3. Resumen resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón

3.5.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN

3.5.2.1. PRIMERA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (0 KG/M3)

Muestra	1a	1b	1c	1d	1e	1f
Fecha de fabricación	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017	12/09/2017
Fecha de ensayo	19/09/2017	19/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	10/10/2017	10/10/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Identificación Fibra (Kg/m3)	0	0	0	0	0	0
Longitud (mm)	560	560	560	560	560	560
Ancho (mm)	152	153	152	153	153	150
Altura (mm)	151	150	151	152	151	151
Longitud de apoyo (mm)	500	500	500	500	500	500
Masa (Kg)	30.30	30.19	29.75	30.17	30.54	29.57
Carga máxima (N)	6890	6860	8622	8769	9825	10025
Resist. tracción por flexión (Mpa)	2.18	2.15	2.72	2.75	3.08	3.21

Tabla 3-28: Primera Dosificación (0 Kg/m3)

3.5.2.2. SEGUNDA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (5 KG/M3)

Muestra	2a	2b	2c	2d	2e	2f
Fecha de fabricación	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017	15/09/2017
Fecha de ensayo	22/09/2017	22/09/2017	29/09/2017	29/09/2017	13/10/2017	13/10/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Identificación Fibra (Kg/m3)	5	5	5	5	5	5
Longitud (mm)	560	560	560	560	560	560
Ancho (mm)	152	152	152	152	152	153
Altura (mm)	151	152	152	151	151	152
Longitud de apoyo (mm)	500	500	500	500	500	500
Masa (Kg)	30.20	29.85	30.25	30.18	30.29	30.20
Carga máxima (N)	9010	9780	12527	13700	16300	16100
Resist. tracción por flexión (Mpa)	2.85	3.09	3.96	4.33	5.15	5.05

Tabla 3-29. Segunda Dosificación (5 Kg/m3).

3.5.2.3. TERCERA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (10 KG/M3)

Muestra	3a	3b	3c	3d	3e	3f
Fecha de fabricación	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017	18/09/2017
Fecha de ensayo	25/09/2017	25/09/2017	02/10/2017	02/10/2017	17/10/2017	17/10/2017
Días curación	7	7	14	14	29	29
Identificación Fibra (Kg/m3)	10	10	5	5	10	10
Longitud (mm)	560	560	560	560	560	560
Ancho (mm)	151	150	152	153	151	150
Altura (mm)	152	153	152	151	152	153
Longitud de apoyo (mm)	500	500	500	500	500	500
Masa (Kg)	30.03	30.17	30.39	30.06	30.09	30.07
Carga máxima (N)	12100	13600	15100	14097	16900	16500
Resist. tracción por flexión (Mpa)	3.85	4.35	4.77	4.42	5.37	5.28

Tabla 3-30. Tercera Dosificación (10 Kg/m3).

3.5.2.4. CUARTA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (20 KG/M3)

Muestra	4a	4b	4c	4d	4e	4f
Fecha de fabricación	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017	26/09/2017
Fecha de ensayo	03/10/2017	03/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	24/10/2017	24/10/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Identificación Fibra (Kg/m3)	20	20	20	20	20	20
Longitud (mm)	560	560	560	560	560	560
Ancho (mm)	151	152	152	153	153	151
Altura (mm)	153	153	153	152	151	150
Longitud de apoyo (mm)	500	500	500	500	500	500
Masa (Kg)	28.95	29.73	30.00	29.94	30.18	30.30
Carga máxima (N)	14310	14864	15900	16100	17100	17700
Resist. tracción por flexión (Mpa)	4.55	4.69	5.02	5.05	5.36	5.63

Tabla 3-31. Cuarta Dosificación (20 Kg/m3).

3.5.2.5. QUINTA DOSIFICACIÓN DE FIBRA (25 KG/M3)

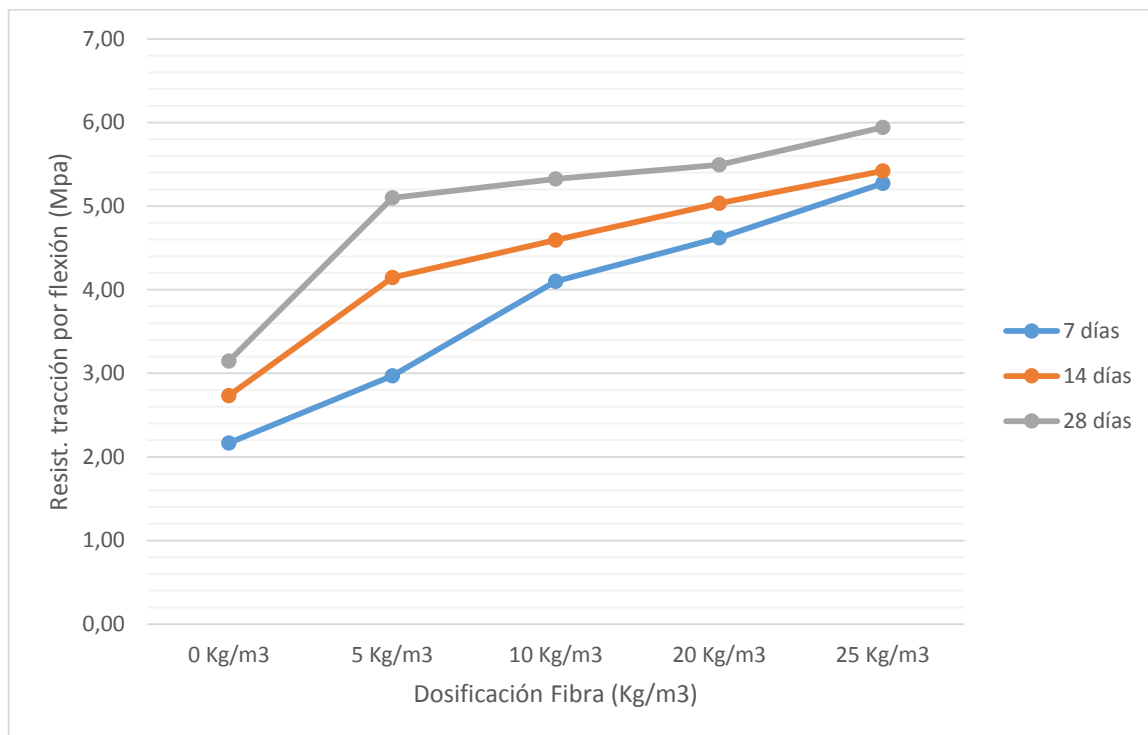
Muestra	5a	5b	5c	5d	5e	5f
Fecha de fabricación	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017	10/10/2017
Fecha de ensayo	17/10/2017	17/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	07/11/2017	07/11/2017
Días curación	7	7	14	14	28	28
Identificación Fibra (Kg/m3)	25	25	25	25	25	25
Longitud (mm)	560	560	560	560	560	560
Ancho (mm)	150	152	152	152	152	150
Altura (mm)	153	152	153	151	153	152
Longitud de apoyo (mm)	500	500	500	500	500	500
Masa (Kg)	30.10	29.93	30.20	29.94	29.86	30.05
Carga máxima (N)	15920	17270	17040	17278	18771	18600
Resist. tracción por flexión (Mpa)	5.09	5.45	5.38	5.46	5.93	5.95

Tabla 3-32. Quinta Dosificación (25 Kg/m3).

3.5.2.6. RESUMEN

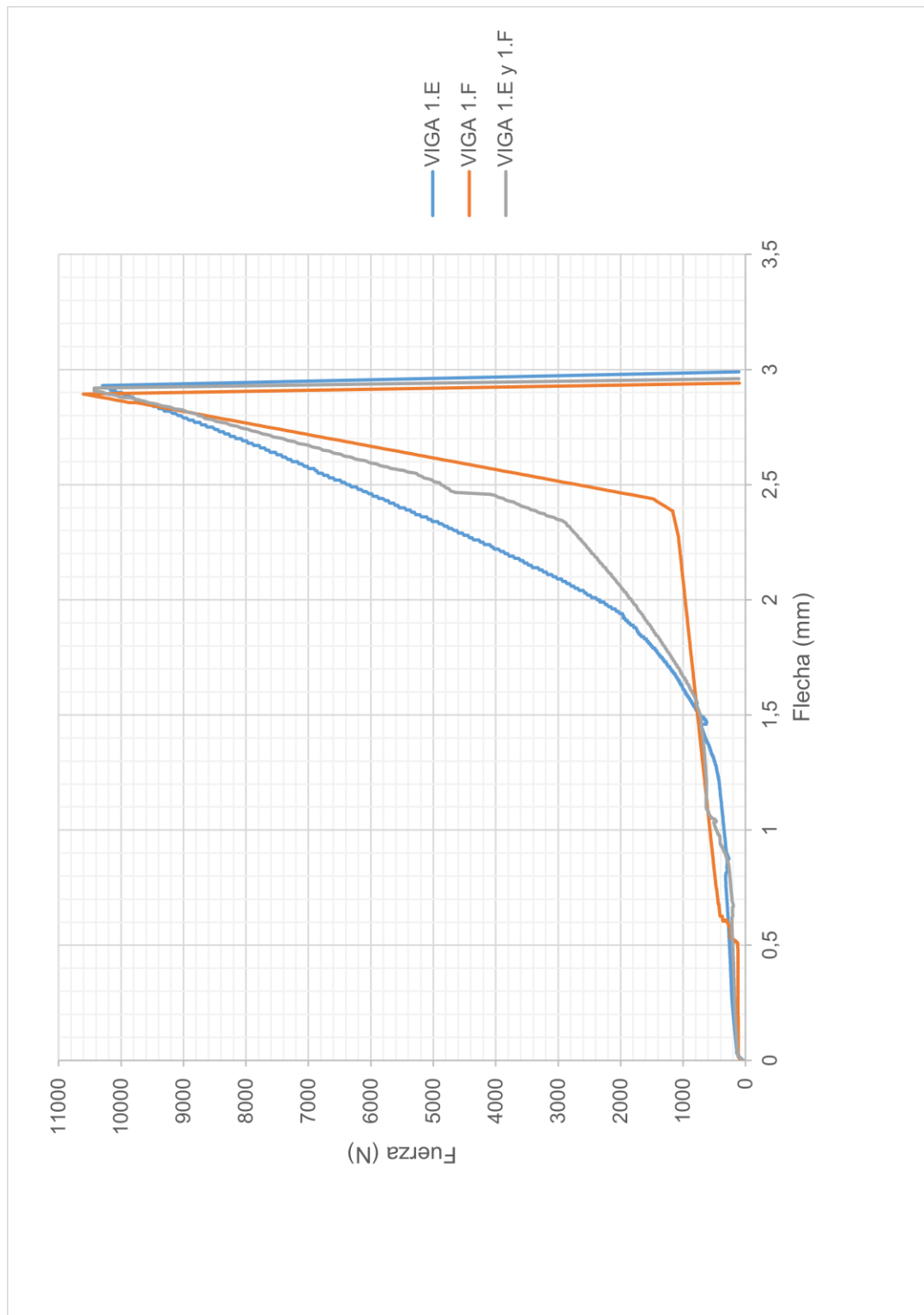
Dosificación Fibra (Kg/m3)	Resist. tracción por flexión (Mpa)		
	7 días	14 días	28 días
0 Kg/m3	2.17	2.74	3.15
5 Kg/m3	2.97	4.15	5.10
10 Kg/m3	4.10	4.60	5.33
20 Kg/m3	4.62	5.04	5.50
25 Kg/m3	5.27	5.42	5.94

Tabla 3-33. Resumen resistencia a la tracción por flexión.



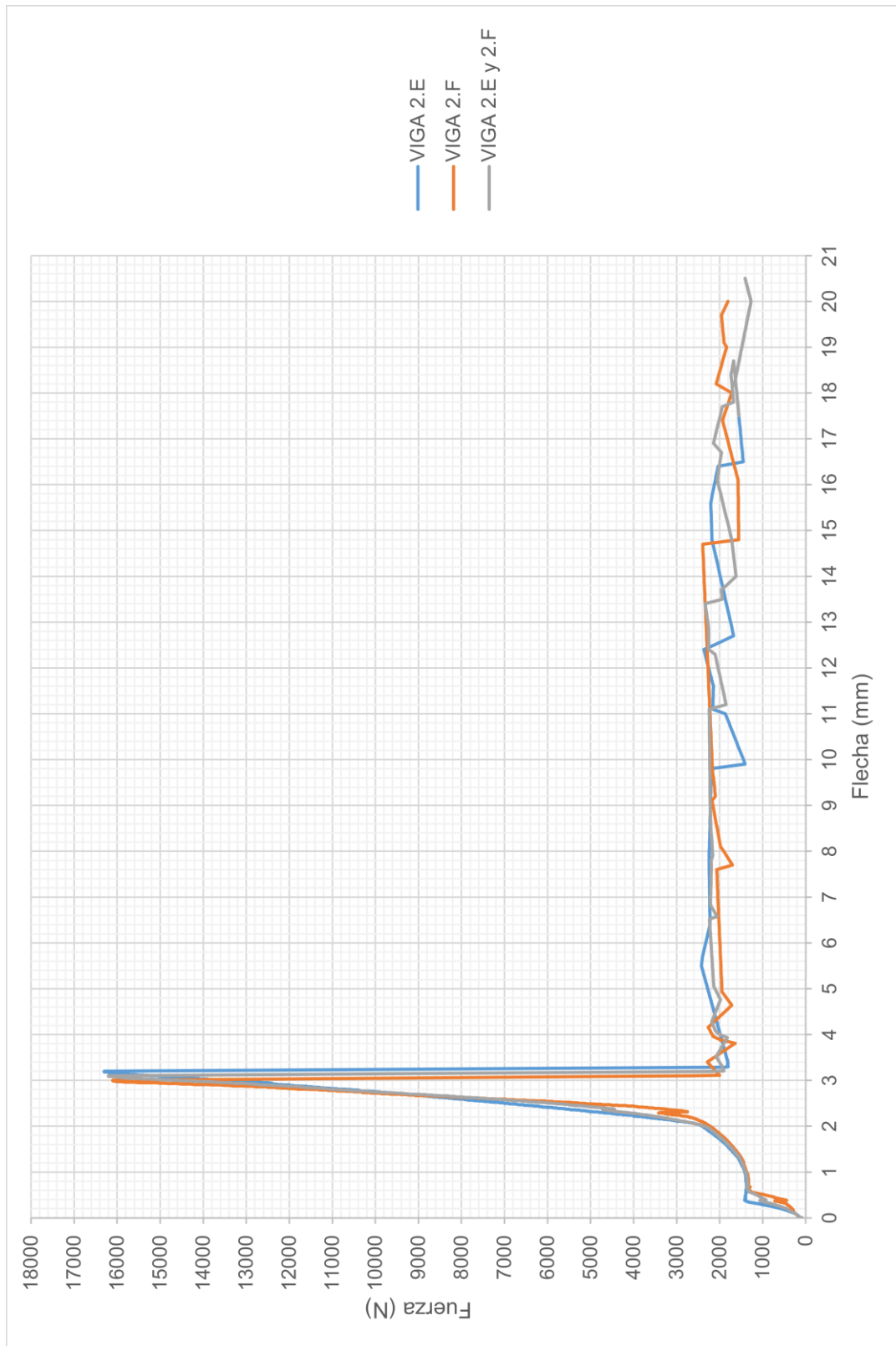
Gráfica 3-4. Resumen resistencia a la tracción por flexión.

Primera dosificación de fibra a los 28 días (0 Kg/m3)

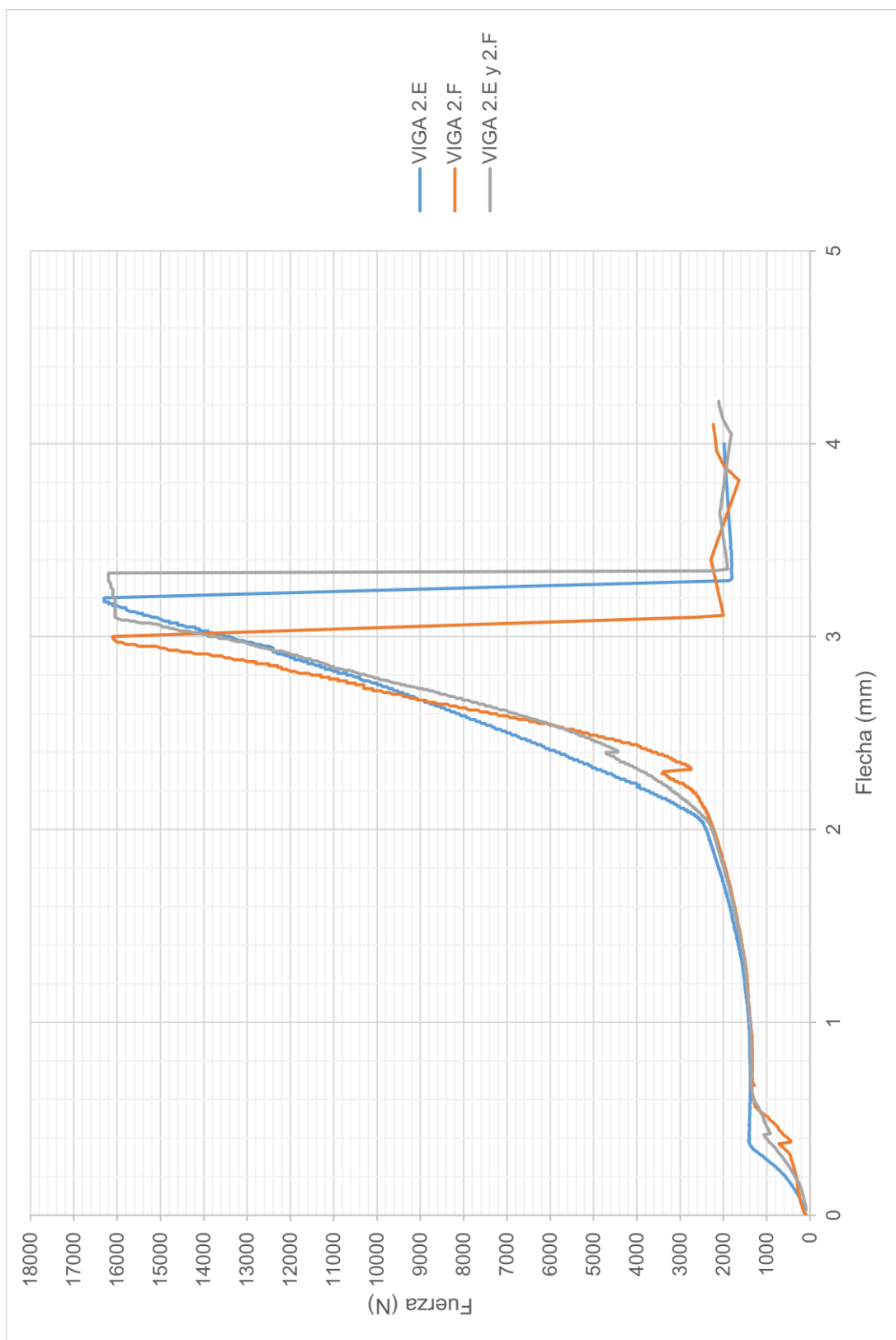


Gráfica 3-5. Primera dosificación (0 kg/m³), a los 28 días

Segunda dosificación de fibra a los 28 días(5 Kg/m3)

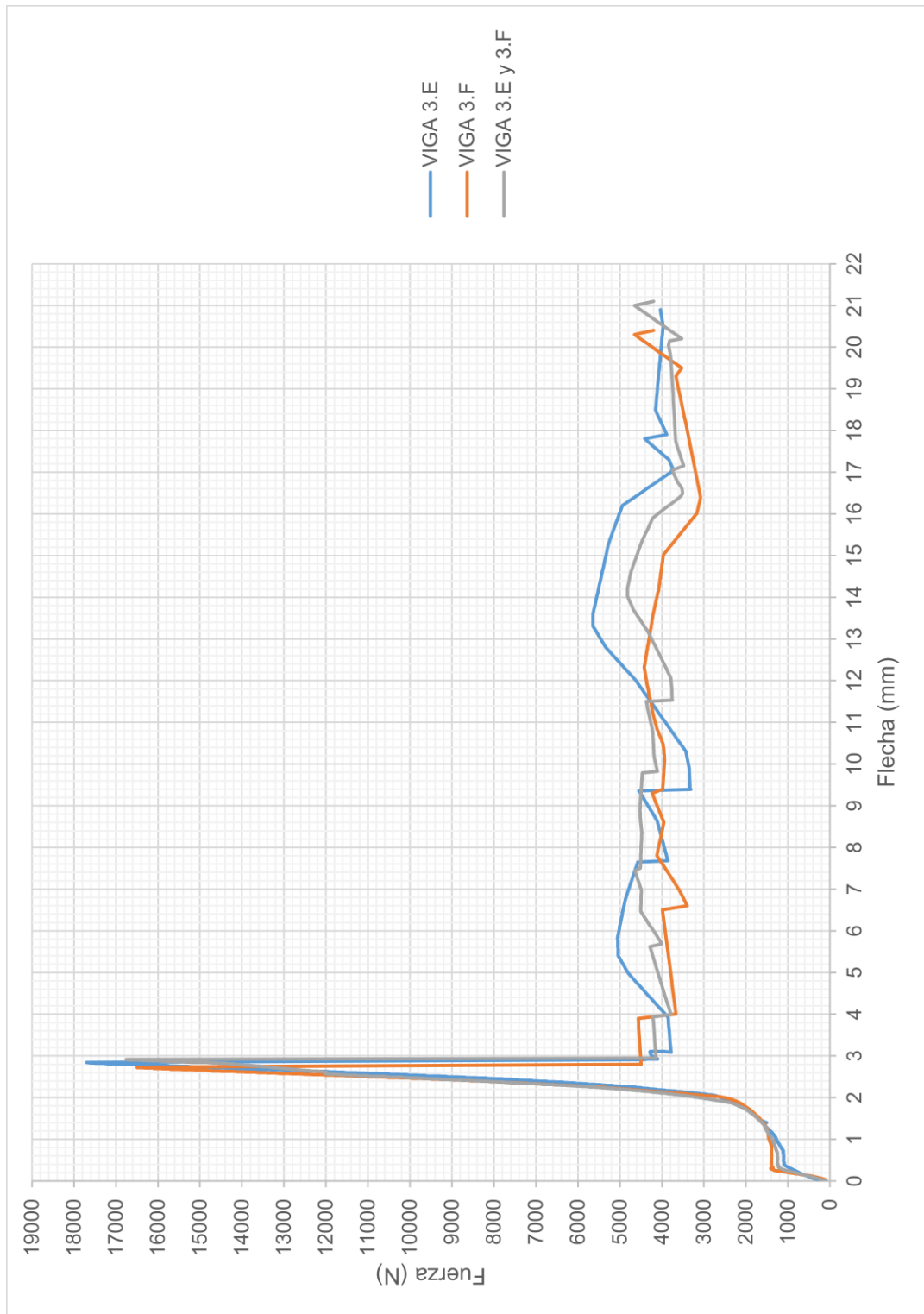


Gráfica 3-6. Segunda dosificación (5 kg/m³), a los 28 días (1)

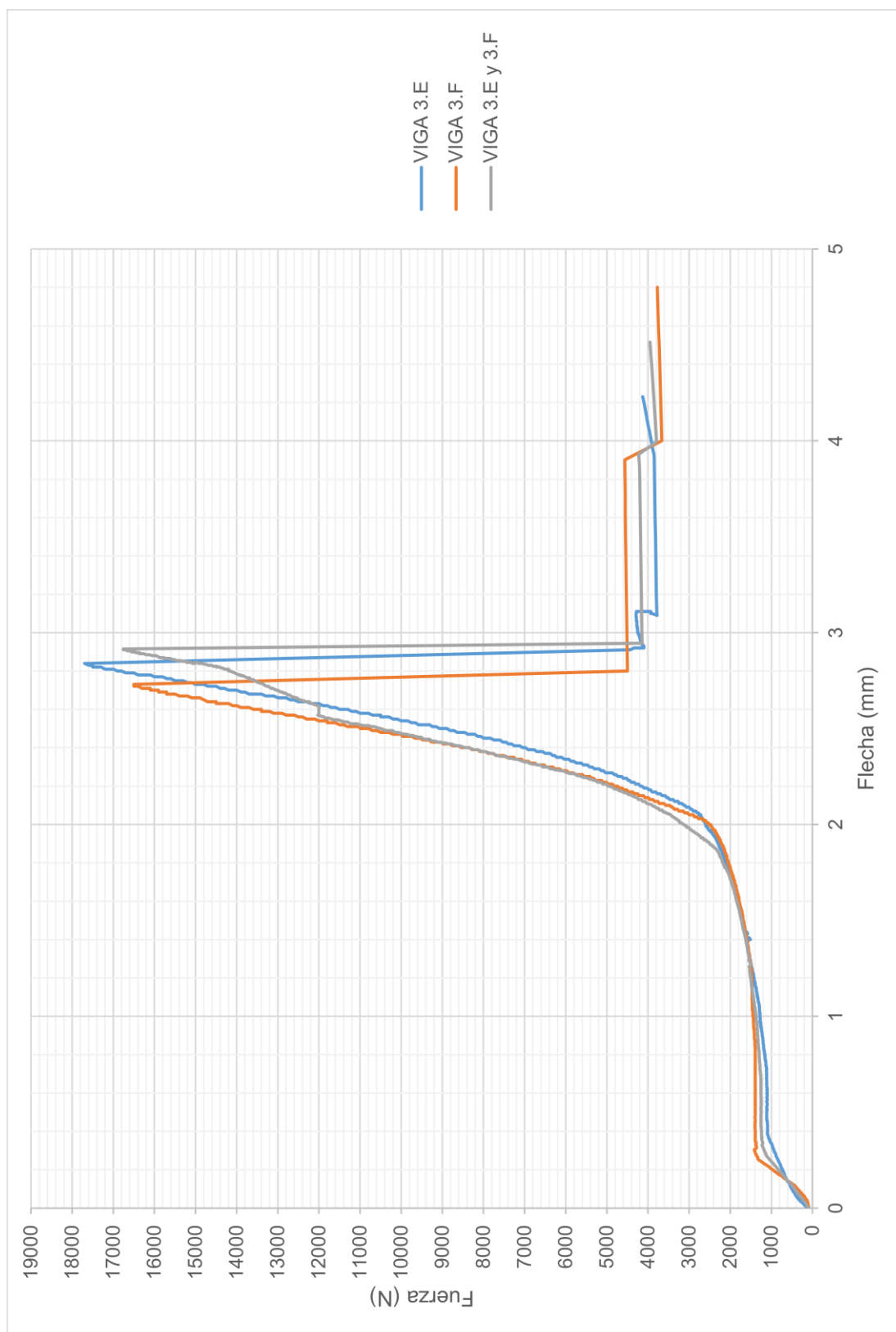


Gráfica 3-7. Segunda dosificación (5 kg/m³), a los 28 días (2)

Tercera dosificación de fibra a los 28 días (10 Kg/m³)

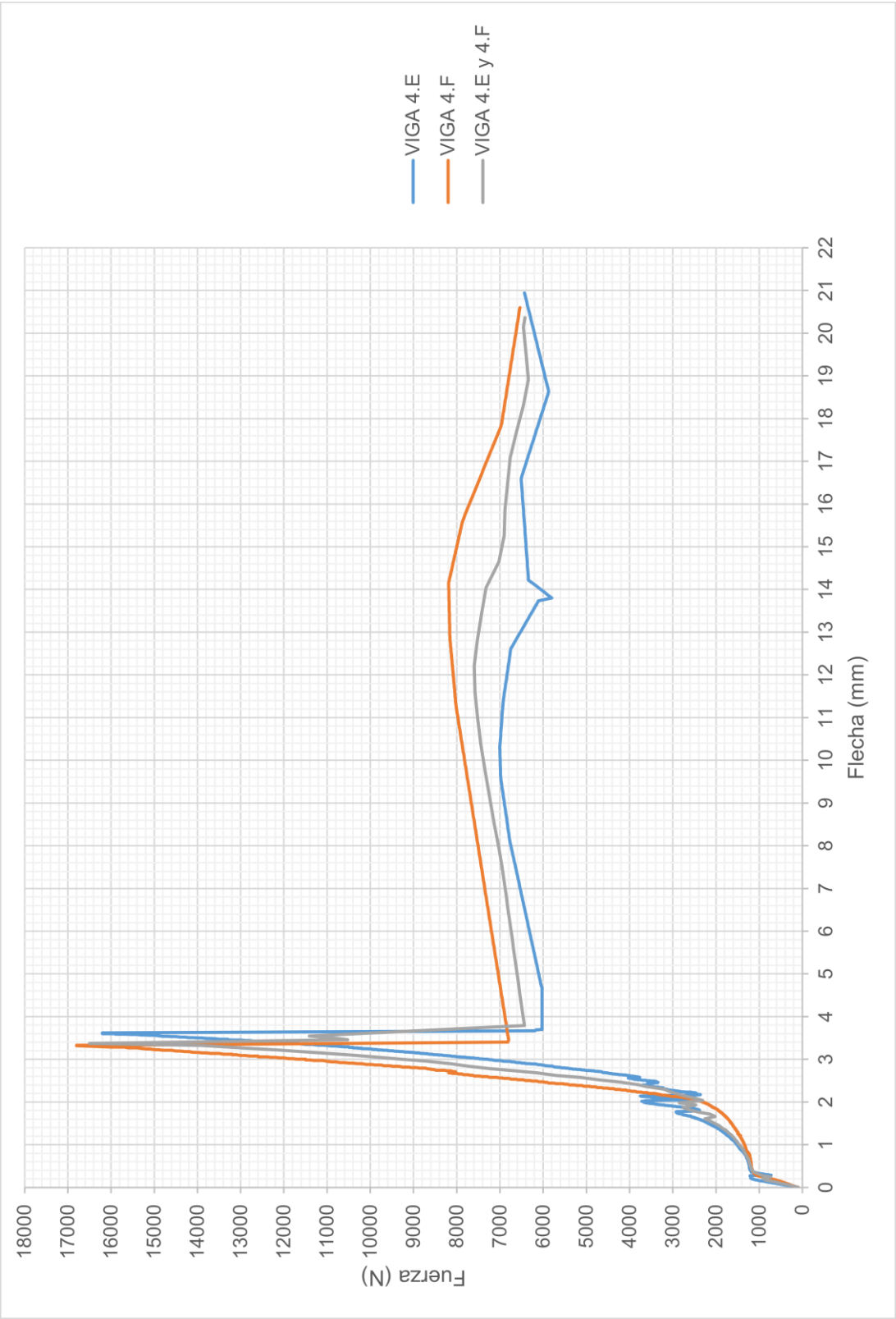


Gráfica 3-8. Tercera dosificación (10 kg/m³), a los 28 días (1)

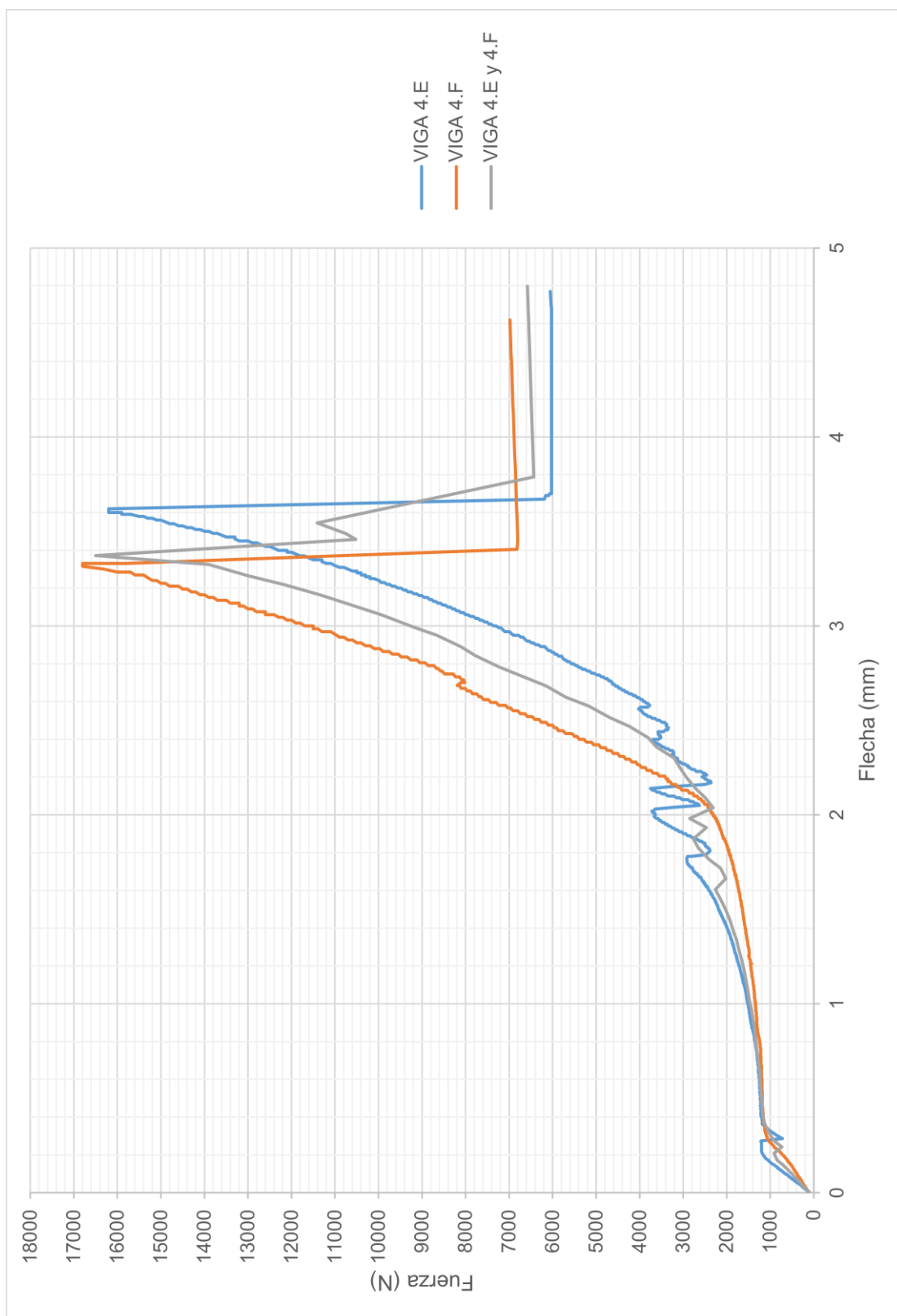


Gráfica 3-9. Tercera dosificación (10 kg/m³), a los 28 días (2)

Cuarta dosificación de fibra a los 28 días (20 Kg/m3)

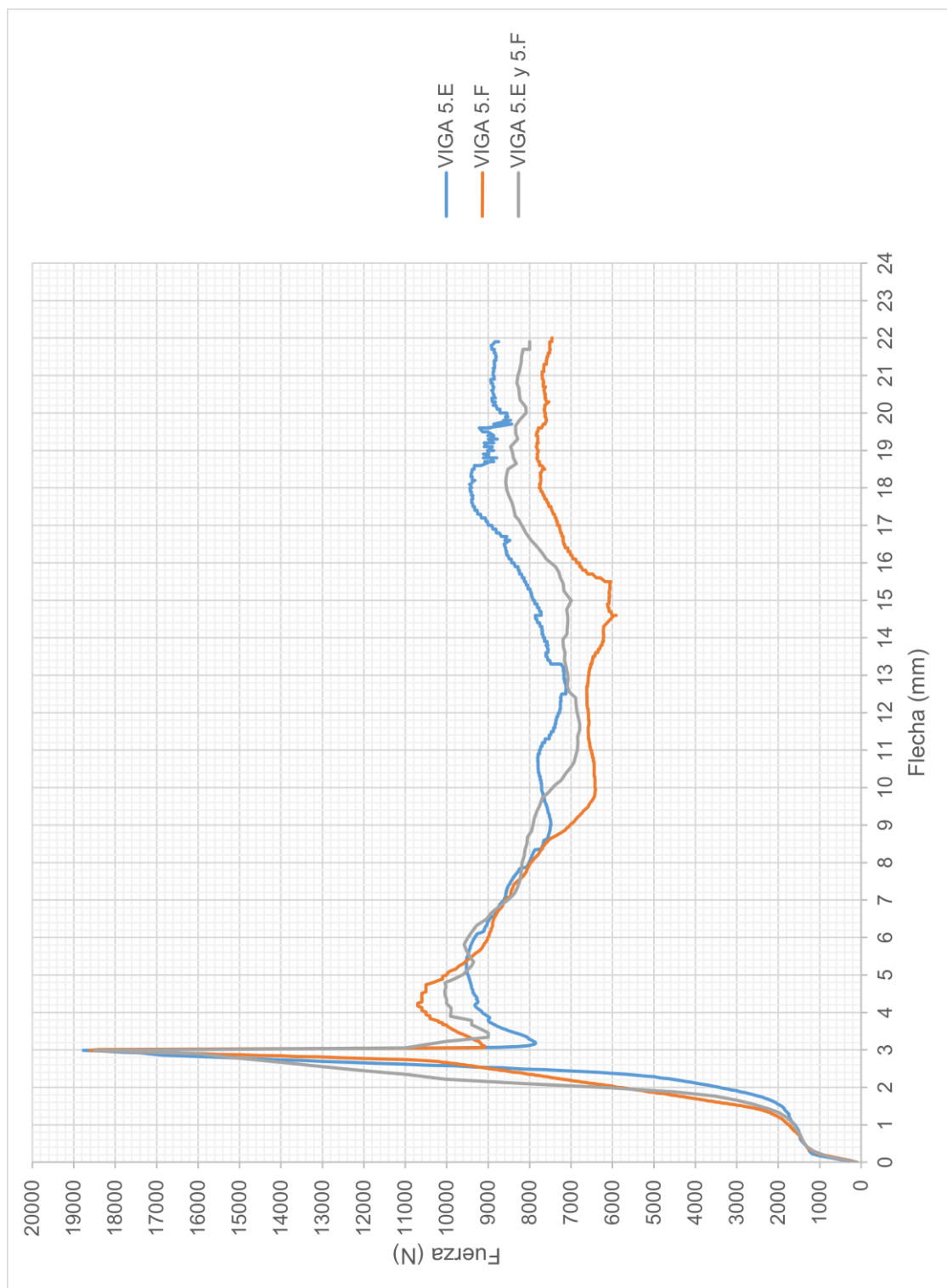


Gráfica 3-10. Cuarta dosificación (20 kg/m3), a los 28 días (1)

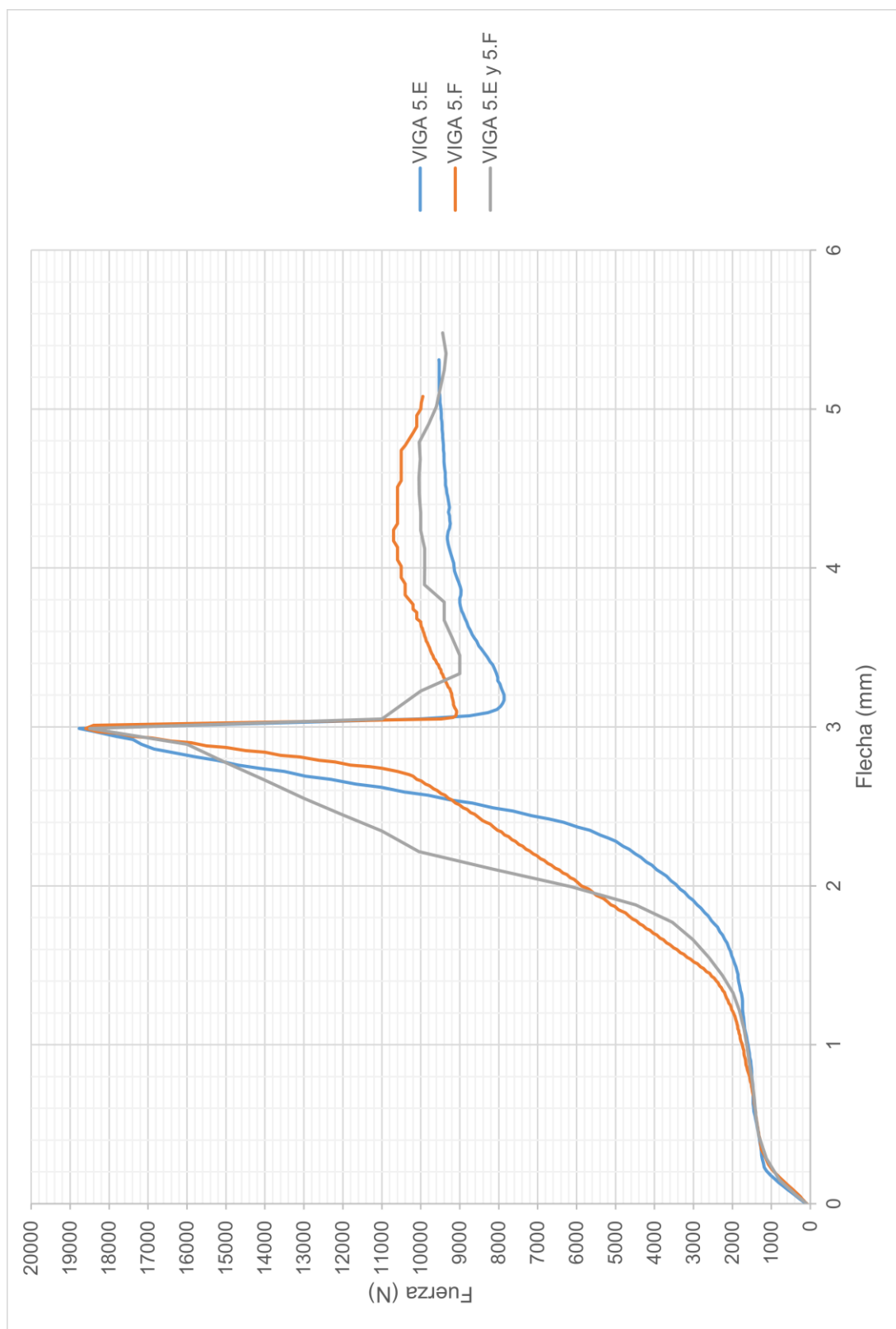


Gráfica 3-11. Cuarta dosificación (20 kg/m³), a los 28 días (2)

Quinta dosificación de fibra a los 28 días (25 Kg/m³)

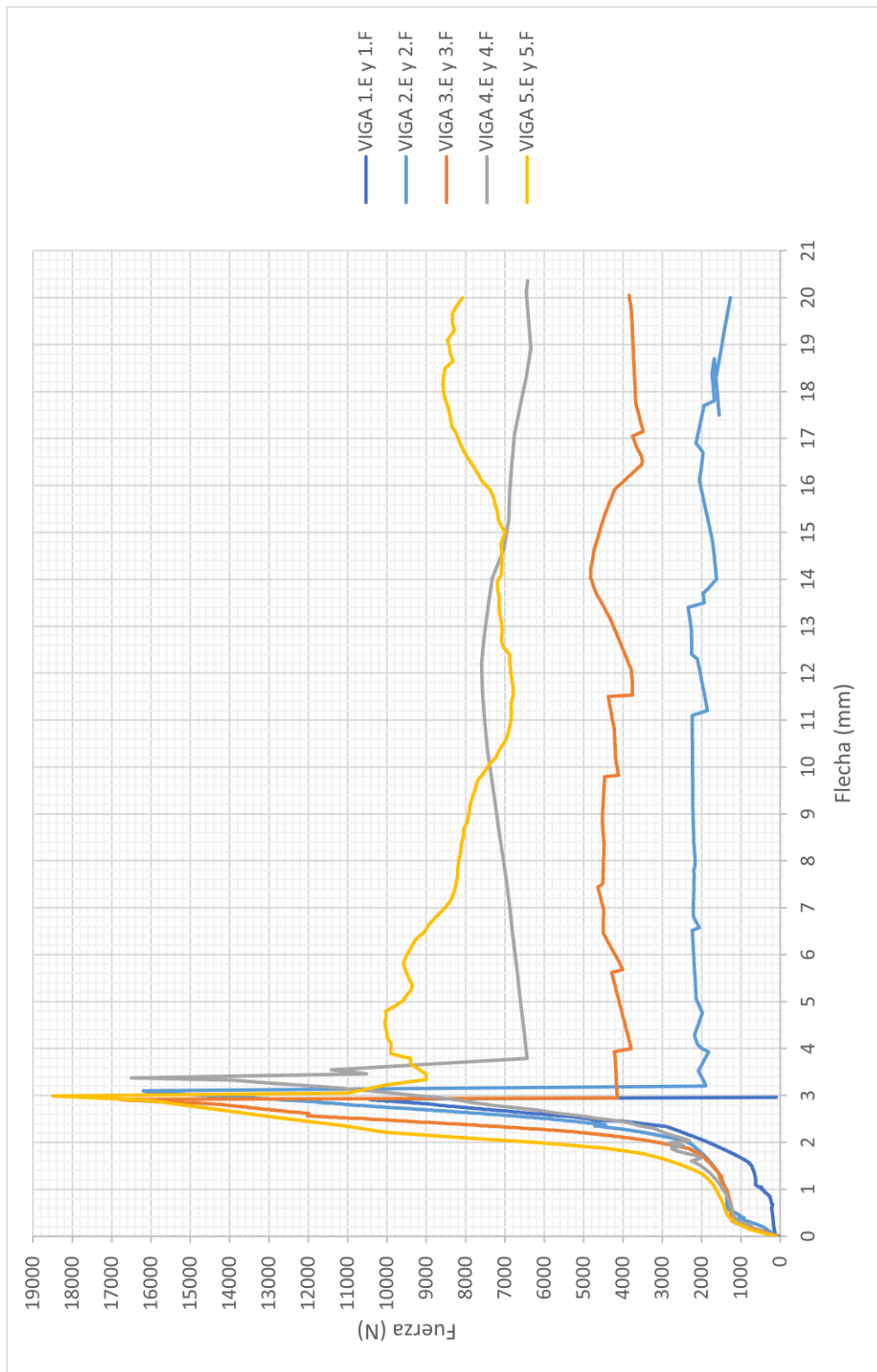


Gráfica 3-12. Quinta dosificación (25 kg/m³), a los 28 días (1)

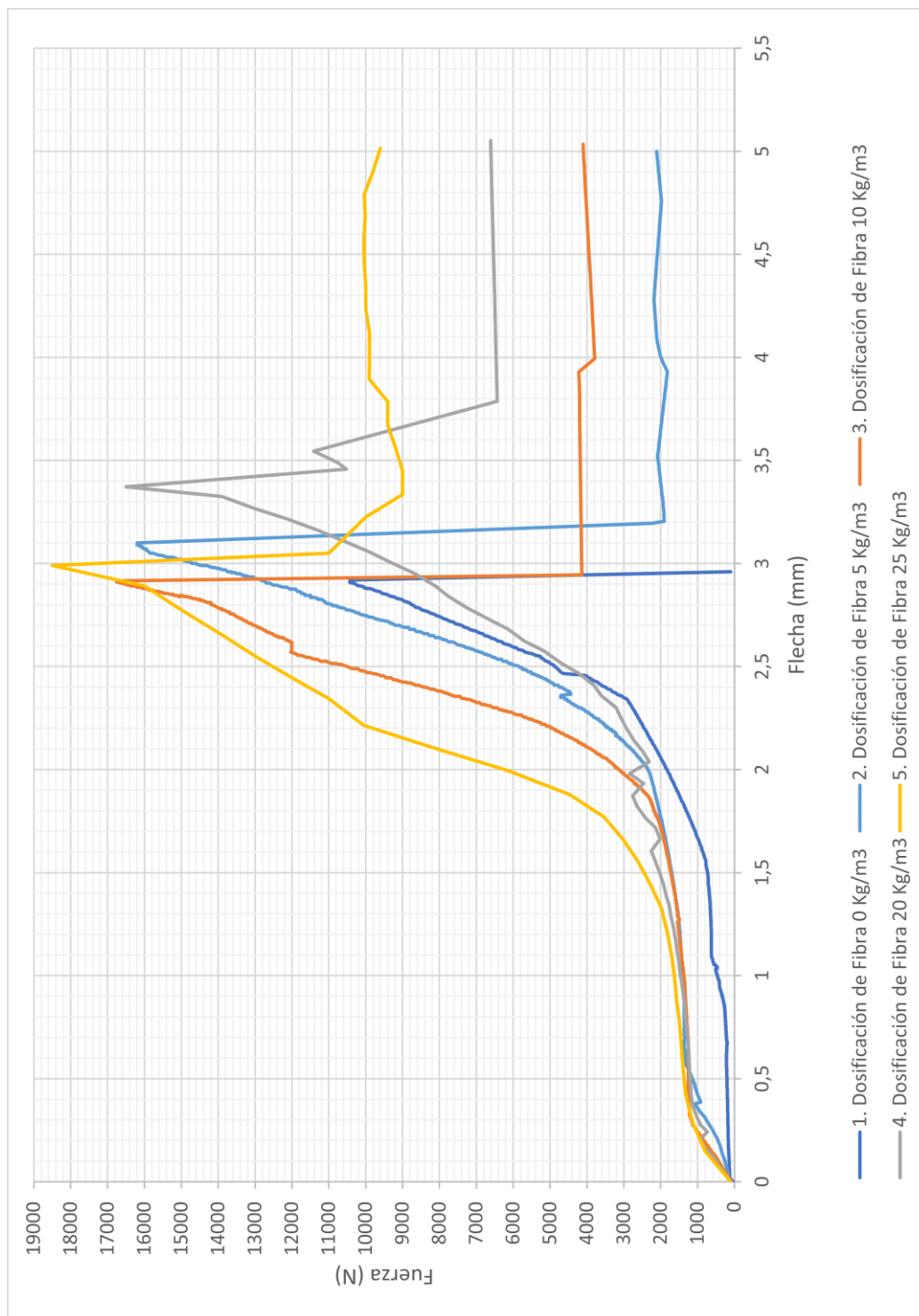


Gráfica 3-13. Quinta dosificación (25 kg/m³), a los 28 días (2)

Comparación con diferentes dosificaciones de fibras de acero DRAMIX 3D a los 28 días de fraguado



Gráfica 3-14. Comparación con diferentes dosificaciones de fibras de acero DRAMIX 3D a los 28 días de fraguado (1)



Gráfica 3-15. Comparación con diferentes dosificaciones de fibras de acero DRAMIX 3D a los 28 días de fraguado (2)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró identificar las ventajas que las fibras de acero ofrecen al hormigón ya que la capacidad residual del hormigón aumenta a medida que aumenta la cantidad de fibras de acero DRAMIX 3D en la mezcla.
- La resistencia máxima a la tracción por flexión del hormigón aumenta al incrementar la dosificación fibras de acero DRAMIX 3D en la mezcla, con una dosificación de fibras de acero de 25 kg/m³ se tiene aproximadamente el doble de la resistencia máxima a la tracción por flexión, que sin la utilización de fibras de acero.
- Se demostró que el uso de fibras de acero DRAMIX 3D en el hormigón, permite controlar la propagación de fisuras, reduciendo el ancho de las mismas al aportar ductilidad al hormigón.
- La capacidad residual del hormigón con 25 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX 3D es 4 veces mayor que la capacidad residual del hormigón con 5 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX 3D.
- La resistencia residual permite al hormigón seguir resistiendo cargas en el tiempo pese a recibir grandes deformaciones.
- Se recomienda controlar que la fibra no quede expuesta directamente a la superficie ya que con el paso del tiempo esta puede iniciar el proceso de oxidación.
- Durante la realización de la presente disertación se evidenció que la utilización de fibras de acero DRAMIX 3D en mezclas de hormigón resulta conveniente, no solo gracias a los aportes que brinda al hormigón como ya se explicó anteriormente, sino también que su aplicación y manejo en campo no requiere de mano de obra especializada y al poder ser vertidas directamente en la mezcla de hormigón, involucra directamente una reducción de tiempo de construcción.
- El estudio e investigación del uso de las fibras de acero con fines ingenieriles es muy amplio por lo cual se recomienda fomentar en los estudiantes posibles temas como por ejemplo la aplicación de fibras de acero en vigas estructurales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2013). AASTHO T-176: Equivalente de arena. USA.
- Arango Campo, S. E. (2010). *Fluencia a flexión del hormigón reforzado con fibras de acero en estado fisurado*. Valencia.
- ASOCRETO. (2006). *Durabilidad y patología del concreto*. Bogota, Colombia.
- FAO. (2003). ¿Es la certificación algo para mí? Una guía práctica sobre por qué, cómo y con quién certificar productos para la exportación. (M. Andersen, Ed.) *Series de Publicaciones RUTA*, 32. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/ad818s/ad818s00.pdf>
- Grech, P. (2001). *Introducción a la ingeniería* (Primera ed.). Bogota: Pearson.
- Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de materiales*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- HOLCIM. (2015). Holcim Premium, Cemento hidráulico Tipo HE de alta resistencia inicial. 15.
- HOLCIM. (2017). *Portal DirectA*. (HOLCIM Ecuador S.A.) Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de https://www.portaldirecta.com/b2b_hcm_la/init.do?loja=EC
- IdealAlambrec. (2014). *IdealAlambrec BEKAERT*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2017, de <https://idealalambrec.bekaert.com/es-MX/construccion/reforzamiento-de-hormigon/dramix-fibras-de-acero>
- IdealAlambrec BEKAERT . (2012). Catálogo de productos - reforzamiento de hormigón. 59.
- INECYC & APRHOPEC. (2007). *El Manual de Pepe Hormigón* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto. (12 de enero de 2017). *INECYC*. Obtenido de http://inecyc.org.ec/documentos/notas_tecnicas/CONTROL_CALIDAD_HORMIGO_N.pdf
- Mármol Salazar, P. C. (2010). *Hormigones con fibras de acero, características mecánicas*. Madrid.
- McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto reforzado* (Octava ed.). México D.F., México: Alfaomega grupo editor S.A.

- MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*. Quito, Ecuador.
- PCA, Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Portland Cement Association. Skokie, Illinois, EE.UU.
- Salvador M., P. (s.f.). *Manual Visualizado de Ensayos para pavimentos*. Quito: Unidad Académica de Transportes.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2009). NTE INEN 156: CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO DE VICAT. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2009). NTE INEN 158: CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO VICAT. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2009). NTE INEN 196: CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA FINURA MEDIANTE EL APARATO DE PERMEABILIDAD AL AIRE. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2009). NTE INEN 488: CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50mm DE ARISTA. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 1573: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILINDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 697: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75 UM (NO. 200), MEDIANTE LAVADO. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 698: ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 855: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN. Quito, Ecuador.

- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 856: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 857: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 858: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACIOS. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 696: ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS. FINO Y GRUESO. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 860: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 862: ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 863: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO. Quito, Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). NTE INEN 3063: HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (LOP), RESISTENCIA RESIDUAL). Quito, Ecuador.

